

Центральноукраїнський національний технічний університет

ЦЗДО

Кафедра “Машинобудування, мехатроніки і робототехніки”

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри
машинобудування, мехатроніки і
робототехніки
канд. техн. наук, доцент

_____ Андрій ГРЕЧКА
«_____» _____ 2026 р.

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

Підвищення продуктивності виготовлення деталі «Важіль»

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу групи ПМ-22з-2
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг
технологій, робототехніка і 3D друк»
спеціальності 131 «Прикладна
механіка»

_____ Денис ВАХНІЮК

Керівник роботи:
канд. техн. наук, доцент

_____ Володимир МІРЗАК

Рецензент:
канд. техн. наук, доцент

_____ Віктор ПУКАЛОВ

Кропивницький 2026

Центральноукраїнський національний технічний університет
Центр заочної та дистанційної освіти
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

13 квітня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
Вахнюку Денису Ігоровичу**

Тема роботи:

Підвищення продуктивності виготовлення деталі «Важіль».

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент Володимир МІРЗАК

Затверджено наказом ЦНТУ від 01 квітня 2026 року № 201-02.

Строк подання роботи до захисту:

20 червня 2026 р.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Мета: підвищення продуктивності виготовлення деталі «Важіль» шляхом розроблення технологічного процесу гарячого об'ємного штампування спареної поковки на кривошипному гарячештампувальному пресі.

Завдання: обґрунтувати вибір гарячого об'ємного штампування на КГШП як раціонального способу виготовлення поковки в умовах масового виробництва; обґрунтувати зустрічно-паралельне розташування двох поковок у штампі та показати його вплив на перерозподіл матеріалу; розробити послідовність переходів штампування; визначити масу поковки, об'єм металу, припуски, штампувальні нахили, радіуси заокруглень і параметри облою; розрахувати розміри вихідної заготовки для спареного штампування з урахуванням двох поковок, облою, угару та технологічних втрат; визначити зусилля штампування та вибрати обладнання; розробити кресленики штампів КГШП і для обрізування облою; розробити рекомендації щодо впровадження спареного штампування у масовому виробництві.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури по тематиці роботи	20.04.2026 р.	
2	Виконання загальної частини	27.04.2026 р.	
3	Виконання технологічної частини	04.05.2026 р.	
4	Виконання конструкторської частини	16.05.2026 р.	
5	Розробка креслеників	30.05.2026 р.	
6	Усунення недоліків після перевірки керівником роботи	10.06.2026 р.	
7	Перевірка роботи на академічний плагіат	12.06.2026 р.	
8	Рецензування роботи	16.06.2026 р.	
9	Захист кваліфікаційної роботи	20.06.2026 р.	

Дата видачі завдання
13 квітня 2026 р.

Здобувач вищої освіти _____ Денис ВАХНЮК

Керівник роботи _____ Володимир МІРЗАК

АНОТАЦІЯ

Вахнюк Д. І. Підвищення продуктивності виготовлення деталі «Важіль»: кваліфікаційна бакалаврська робота: спец. 131 Прикладна механіка / наук. кер. В. Я. Мірзак; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2026. 49 с.

Креслеників – разом 4 аркуші формату А1.

Метою роботи є підвищення продуктивності виготовлення деталі «Важіль» шляхом розроблення технологічного процесу гарячого об'ємного штампування спареної поковки на кривошипному гарячештампувальному пресі.

Актуальність роботи зумовлена необхідністю підвищення продуктивності масового виготовлення деталі «Важіль» шляхом упровадження спареного гарячого штампування на КГШП, що забезпечує отримання двох поковок з однієї заготовки за один робочий цикл, більш раціональний перерозподіл металу та вилучення підготовчої операції вальцювання.

В роботі проаналізована конструкція деталі «Важіль», її матеріал, маса, призначення та вимоги до заготовки; обґрунтовано вибір гарячого об'ємного штампування на КГШП як раціонального способу виготовлення поковки в умовах масового виробництва; визначено масу поковки, об'єм металу, припуски, штампувальні нахили, радіуси заокруглень і параметри облою, розроблена послідовність переходів штампування; розраховано розміри вихідної заготовки для спареного штампування з урахуванням двох поковок, облою, угару та технологічних втрат; визначено зусилля штампування і обрізування облою та вибрано відповідне обладнання, призначено завершальні операції гарячого об'ємного штампування; розроблені складальні кресленики штампів КГШП і для обрізування облою та виконані робочі кресленики окремих деталей; розроблені рекомендації щодо впровадження спареного штампування у масовому виробництві.

Ключові слова: технологічний процес, гаряче штампування, розрахункова заготовка, зусилля штампування, спарене штампування, штамп КГШП, штамп для обрізання облою

ANNOTATION

Denys VAKHNIUK. Increasing the productivity of manufacturing the "Lever" part. Qualification work for the educational level "Bachelor", specialty 131 Applied mechanics / Scientific supervisor Volodymyr MIRZAK: Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2026. 49 p.

Drawings – summary 4 sheets A1 format.

The relevance of the work is due to the need to increase the productivity of mass production of the “Lever” part by introducing paired hot stamping on a KGSHP, which ensures the production of two forgings from one workpiece in one work cycle, more rational redistribution of metal and the elimination of the preparatory rolling operation.

The work analyzes the design of the “Lever” part, its material, mass, purpose and requirements for the workpiece; justifies the choice of hot volumetric stamping on a KGSHP as a rational method of manufacturing a forging in mass production; determines the mass of the forging, metal volume, allowances, stamping slopes, rounding radii and blank parameters, develops a sequence of stamping transitions; calculates the dimensions of the initial workpiece for paired stamping, taking into account two forgings, blank, waste and technological losses; determines the stamping and blank trimming forces and selects the appropriate equipment, assigns the final operations of hot volumetric stamping; assembly drawings of the KGSHP and blank cutting dies were developed and working drawings of individual parts were made; recommendations were developed for the introduction of paired stamping in mass production.

Keywords: technological process, hot stamping, calculated workpiece, stamping force, paired stamping, KGSHP die, die for trimming

Центральноукраїнський національний технічний університет
ЦЗДО

Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи на тему:

Підвищення продуктивності виготовлення деталі «Важіль»

КРБ.ПМ.26.53.32.00.00

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу групи ПМ-22з-2
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг технологій,
робототехніка і 3D друк»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
_____ Денис ВАХНЮК

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

Кропивницький 2026

ЗМІСТ

ВСТУП	7
Розділ 1 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ГАРЯЧОГО	11
1. ШТАМПУВАННЯ ПОКОВКИ "ВАЖІЛЬ"	11
1.1 Опис і технічна характеристика деталі	11
1.2 Вибір та обґрунтування оптимального способу штампування...	12
1.3 Розробка кресленника поковки	12
1.4 Вибір виду та визначення розмірів вихідної заготовки. Вибір обладнання для різання металу на мірні заготовки.	20
1.5 Вибір способу та режимів нагрівання заготовок та охолодження поковок. Вибір нагрівального обладнання	23
1.6 Вибір штампувального обладнання	23
1.7 Вибір виду обрізання облою в поковках. Вибір обрізного пресу	24
1.8 Вибір режимів термообробки поковок	25
1.9 Вибір способу та обладнання для очистки поковок від окалини	26
1.10 Вибір способу та обладнання для правки поковок	26
1.11 Вибір методів контролю та вимірювального інструменту	26
1.12 Розробка плану штампувальної ділянки	27
1.13 Вибір складу робочої бригади та розрахунки норм часу на штампування	27
1.14 Складання карти технологічного процесу гарячого штампування	29
Розділ 2 КОНСТРУЮВАННЯ ШТАМПІВ	30
2. 2.1 Конструювання штампу КГШП	30
2.2 Конструювання штампу для обрізування облою	33
Перелік джерел посилання	37
ДОДАТКИ	39
Додаток А. Кресленик деталі «Важіль»	40
Додаток Б. Технологічна карта виготовлення деталі «Важіль»	41
Додаток В. Специфікація до складального кресленника штампу КГШП	43
Додаток Г. Специфікація до складального кресленника штампу для обрізування облою	45
Додаток Д. Рекомендації щодо впровадження спареного штампування у масовому виробництві	46

ВСТУП

Актуальність роботи

Деталі типу «Важіль» широко застосовуються у вузлах машин, механізмів, транспортних засобів, сільськогосподарської та технологічної техніки як елементи передавання зусиль, переміщень або обертового руху. У процесі експлуатації такі деталі можуть сприймати змінні згинальні, розтягувальні, стискальні та контактні навантаження, тому до них висуваються підвищені вимоги щодо міцності, жорсткості, стабільності геометричних розмірів і надійності роботи.

Рациональним способом одержання заготовок для деталей типу «Важіль» в умовах масового виробництва є гаряче об'ємне штампування в рівчаках штампа на кривошипному гарячештампувальному пресі. Цей спосіб дозволяє отримати поковку, форма якої наближена до форми готової деталі, забезпечити сприятливий напрям волокон металу, зменшити обсяг подальшої механічної обробки та підвищити коефіцієнт використання металу порівняно з іншими технологіями виготовлення.

Для масового виробництва особливе значення має не тільки якість поковки, а й продуктивність технологічного процесу, тривалість виробничого циклу, кількість переходів, витрати металу на облой, завантаження основного обладнання та собівартість одиниці продукції. Тому підвищення продуктивності виготовлення деталі «Важіль» доцільно здійснювати не лише за рахунок вибору високопродуктивного обладнання, а й шляхом удосконалення самої схеми штампування.

Конструкція деталі «Важіль» має низку особливостей, які істотно впливають на технологію її виготовлення. Деталь «Важіль» має видовжену асиметричну форму, дві головки різного розміру та стрижневу частину змінного поперечного перерізу. Через це метал у поковці розподілений нерівномірно: більший об'єм зосереджений у зоні великої головки, а менший — у зоні протилежного кінця деталі. У базовому варіанті, коли одна поковка штампується з однієї заготовки, така особливість ускладнює формоутворення, оскільки

вихідна заготовка простої форми не відповідає об'ємному розподілу майбутньої поковки.

Для забезпечення необхідного перерозподілу металу при одиничному штампуванні подібних видовжених деталей часто виникає потреба у підготовчих операціях, зокрема у вальцюванні. Вальцювання дає змогу попередньо перерозподілити метал уздовж заготовки, однак воно потребує додаткового обладнання, збільшує кількість технологічних операцій, ускладнює маршрут виготовлення та підвищує трудомісткість процесу. В умовах масового виробництва це негативно впливає на продуктивність і собівартість виготовлення поковок.

У пропонованому технологічному процесі передбачається застосування спареного штампування, за якого дві поковки типу «Важіль» розташовуються зустрічно і паралельно в кінцевому рівчаку штампа. Таке компонування дозволяє більш рівномірно використати об'єм вихідної заготовки. Більша головка однієї поковки розміщується навпроти меншої частини другої поковки, завдяки чому загальний розподіл металу в плані стає більш урівноваженим. Це створює кращі умови для течії металу під час деформування та зменшує потребу в окремій підготовчій операції вальцювання.

Таким чином, актуальність роботи зумовлена необхідністю підвищення продуктивності виготовлення деталі «Важіль» в умовах масового виробництва шляхом удосконалення технологічного процесу гарячого об'ємного штампування. Перехід від одиничного до спареного штампування дозволяє за один робочий цикл КГПП отримувати дві поковки замість однієї, урівноважити перерозподіл металу в заготовці, вилучити підготовчу операцію вальцювання та скоротити загальну трудомісткість виготовлення. Це створює передумови для зниження собівартості поковок, підвищення ефективності використання обладнання та покращення організації масового виробництва.

Практична цінність роботи

Практична цінність роботи полягає у розробленні удосконаленого технологічного процесу гарячого об'ємного штампування поковки типу

«Важіль» на кривошипному гарячештампувальному пресі, який орієнтований на умови масового виробництва. Запропоноване технічне рішення передбачає перехід від базового одиничного штампування до спареного варіанта, за якого дві поковки розташовуються зустрічно і паралельно та формуються з однієї заготовки.

Додатковою перевагою запропонованого процесу є можливість вилучення підготовчої операції вальцювання. Завдяки зустрічно-паралельному розташуванню двох поковок у кінцевому рівчаку створюються умови для більш рівномірного перерозподілу металу без застосування окремого вальцювального обладнання. Функцію попереднього формоутворення виконує пережимний перехід у штампі КГПП. Це спрощує технологічний маршрут, зменшує кількість операцій, скорочує допоміжний час і знижує потребу в додатковому обладнанні та виробничих площах.

Запропонована схема також має технологічні переваги з погляду формоутворення. Урівноважене розташування двох асиметричних поковок сприяє більш стабільній течії металу в рівчаках, зменшує ймовірність однобічного перевантаження штампа, покращує умови заповнення порожнини кінцевого рівчака та дозволяє раціональніше організувати утворення облою. Це позитивно впливає на стабільність геометрії поковок і може сприяти підвищенню стійкості штампового інструменту.

Результати роботи можуть бути використані під час розроблення маршрутної технології виготовлення деталі «Важіль», проєктування рівчаків штампа КГПП, визначення розмірів вихідної заготовки, розрахунку сил штампування, вибору обладнання та розроблення операції холодного обрізання облою.

Мета роботи

Метою роботи є підвищення продуктивності виготовлення деталі «Важіль» шляхом розроблення технологічного процесу гарячого об'ємного штампування спареної поковки на кривошипному гарячештампувальному пресі.

Задачі роботи

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Проаналізувати конструкцію деталі «Важіль», її матеріал, масу, призначення та вимоги до заготовки.
2. Обґрунтувати вибір гарячого об'ємного штампування на КГШП як раціонального способу виготовлення поковки в умовах масового виробництва. Розробити базову та пропоновану схеми виготовлення поковки, порівняти одиничне і спарене штампування.
3. Визначити масу поковки, об'єм металу, припуски, штампувальні нахили, радіуси заокруглень і параметри облою. Розробити послідовність переходів штампування.
4. Розрахувати розміри вихідної заготовки для спареного штампування з урахуванням двох поковок, облою, угару та технологічних втрат.
5. Визначити зусилля штампування і обрізування облою та вибрати відповідне обладнання. Призначити завершальні операції гарячого об'ємного штампування.
6. Розробити складальні кресленики штампів КГШП і для обрізування облою та виконати робочі кресленики окремих деталей.
7. Розробити рекомендації щодо впровадження спареного штампування у масовому виробництві.

1 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ГАРЯЧОГО ШТАМПУВАННЯ ПОКОВКИ "ВАЖІЛЬ"

1.1 Опис і технічна характеристика деталі

1.1.1 Призначення та область застосування деталі

Деталь "Важіль" призначена для передачі різного роду зусиль в різноманітних механічних системах. Деталь належить до групи видовжених фасонних деталей, для яких характерне нерівномірне розміщення металу вздовж осі заготовки. До цієї групи можна віднести важелі, тяги, шатуни, вилки, серги, коромисла, кронштейни та інші елементи, що мають поєднання стрижневої частини з однією або кількома потовщеними зонами. У машинобудуванні такі деталі часто виготовляють саме гарячим об'ємним штампуванням, оскільки цей спосіб забезпечує спрямовану волокнисту структуру металу, достатню точність заготовки та можливість отримання складної просторової форми [1-5].

1.1.2 Конструктивно-технологічний аналіз деталі

Деталь має просторову форму середньої складності. В деталі є два отвори діаметрами 16 та 7 мм відповідно. Інші конструктивні елементи деталі (радіуси закруглень, ухили) відповідають умовам технологічності. Характер діючих зусиль вимагає розташування волокон вздовж осі деталі [6, 7].

1.1.3 Короткі відомості про матеріал деталі

Важіль виготовляється із сталі 20 ДСТУ 7809.2015. Сталь 20 відноситься до вуглецевої якісної конструкційної сталі. Хімічний склад сталі та механічні характеристики див. у табл. 1.1, 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 сталі 20

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 у додатку А а її твердотільна модель на рис. 1.2 [8].

1.1.4 Прийняття установчих баз

Враховуючи форму деталі приймаємо вихідні установчі бази (рис. 1.1).

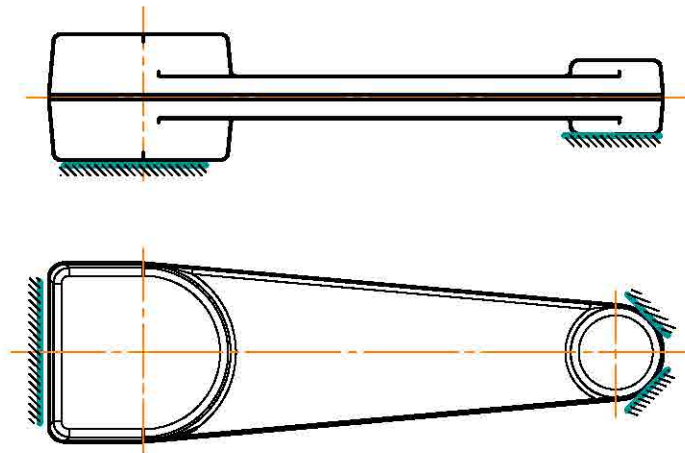


Рисунок 1.1 - Розташування установчих баз

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 3-ої підгрупи. Для таких поковок рекомендується застосування пережимного рівчака, попереднього та кінцевого.

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 SolidWorks по побудованій твердотільній моделі (рис.1.2.) 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).

$$G_d := 246 \quad - \text{ маса деталі, гр.}$$

$$G_p := 1.25 \cdot G_d \quad - \text{ маса поковки, гр.}$$

$$G_p = 307.5$$

$G_{\phi} := 620.4$ - маса фігури, в яку вписується поковка, гр
(визначена засобами графічного редактора
Компас-Графік).

$$C := \frac{G_{\Pi}}{G_{\phi}} \quad (1)$$

$$C = 0.496$$

Приймаємо складність поковки C2 [6, 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 [6, 7, 11] Припуски і допуски на поковку "Важіль" наведені в табл. 1.3.

Намітки під прошивку в поковці не виконуємо, так як отвори в деталі мають розміри по діаметру менше 30 мм.

Таблиця 1.3 – Припуски та допуски

Розмір деталі, мм	Припуск на сторону, мм [	Допуск, мм	Кінцевий розмір, мм
20	1,8	$\begin{smallmatrix} +0,8 \\ -0,4 \end{smallmatrix}$	$23,6^{+0,8}_{-0,4}$
10	1,8	$\begin{smallmatrix} +0,8 \\ -0,4 \end{smallmatrix}$	$13,6^{+0,8}_{-0,4}$
R17	-	$\begin{smallmatrix} +0,8 \\ -0,4 \end{smallmatrix}$	$R17^{+0,8}_{-0,4}$
8	-	$\begin{smallmatrix} +0,8 \\ -0,4 \end{smallmatrix}$	$8^{+0,8}_{-0,4}$
R9	-	$\begin{smallmatrix} +0,8 \\ -0,4 \end{smallmatrix}$	$R9^{+0,8}_{-0,4}$
90	-	$\pm 0,5$	$90 \pm 0,5$
116	-	$\begin{smallmatrix} +0,9 \\ -0,5 \end{smallmatrix}$	$116^{+0,9}_{-0,5}$

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 SolidWorks. Розраховуємо масо-центровочні характеристики моделі. Роздруковка масо-центровочних характеристик наводиться в додатку.

Маса поковки з врахуванням призначених припусків і допусків складає 322.9 гр., що вписується в раніше вибраний діапазон 0,25- 0,4 кг. Перераховувати ступінь складності поковки і припуски не потрібно.

1.3.3 Побудова розрахункової заготовки та епюри перерізів

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

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

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;

$S_{об}$ - площа перерізу облою;

h_3 - висота містка облойної канавки, мм;

b - ширина містка, мм;

B - ширина облою в магазині, мм;

З метою вирівнювання епюри перерізів приймаємо спарений варіан штампування з розташуванням поковок валетом.

1.3.4 Вибір облойної канавки та розрахунок параметрів облою.

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 КГПП.

$$F_{\Pi} := 6136 \quad - \text{ площа поковки в плані, мм}^2$$

$$G_M := 5 \cdot \frac{F_{\Pi}}{100} \quad G_M = 306.8 \text{ кг}$$

$$G_{\Pi p} := \frac{G_M}{100} \quad G_{\Pi p} = 3.068 \text{ МН}$$

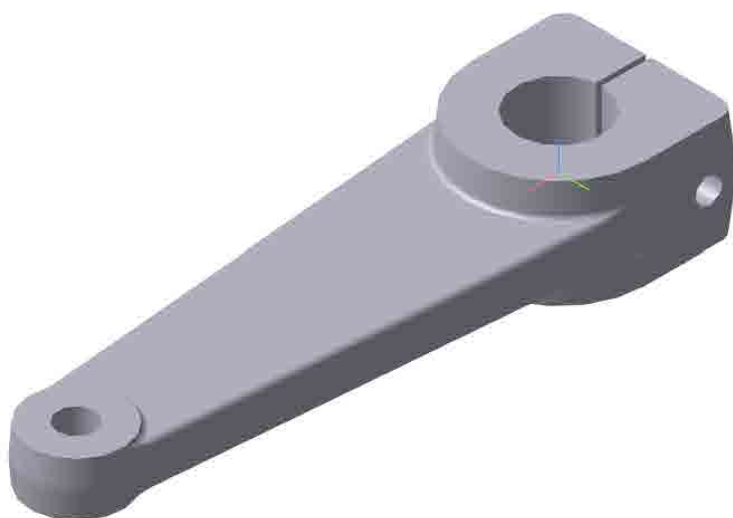


Рисунок 1.2 – Параметрична тривимірна твердотільна модель деталі
"Вагіль"

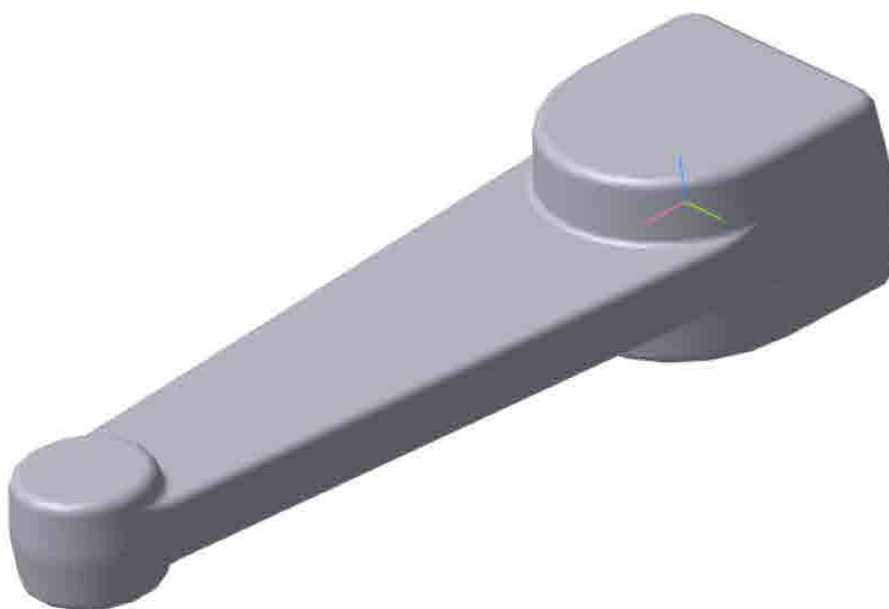


Рисунок 1.3 – Параметрична тривимірна твердотільна модель поковки
"Вагіль"

Приймаємо найближчий прес номінальним зусиллям 6.3 МН.

Вибираємо перший тип облойної канавки [6, 7, 11]. Схема облойної канавки та її параметри наведені на рис. 1.4.

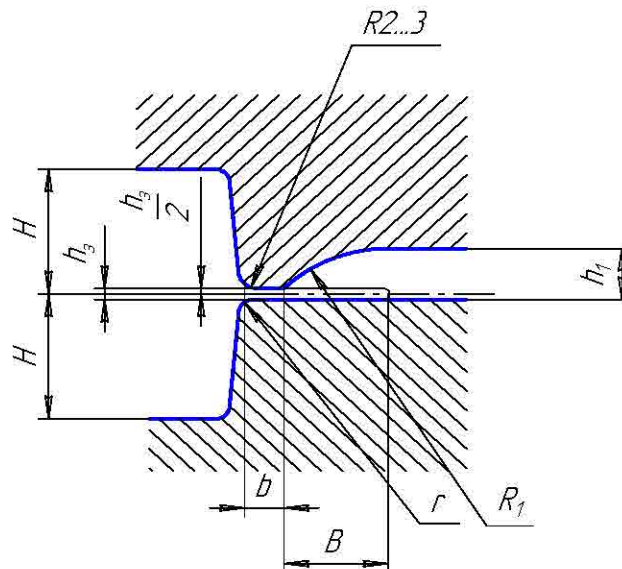


Рисунок 1.4 - Схема облойної канавки

Розміри облойної канавки вибираємо по [2, табл. 2, стор. 184].

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

Площа перерізу облою

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

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

Будуємо епюру перерізів (рис.1.6.) відклавши в масштабі $M=10$ величини площин характерних перерізів S_e в вигляді відрізків h_e , (табл. 1.4.), мм [9].

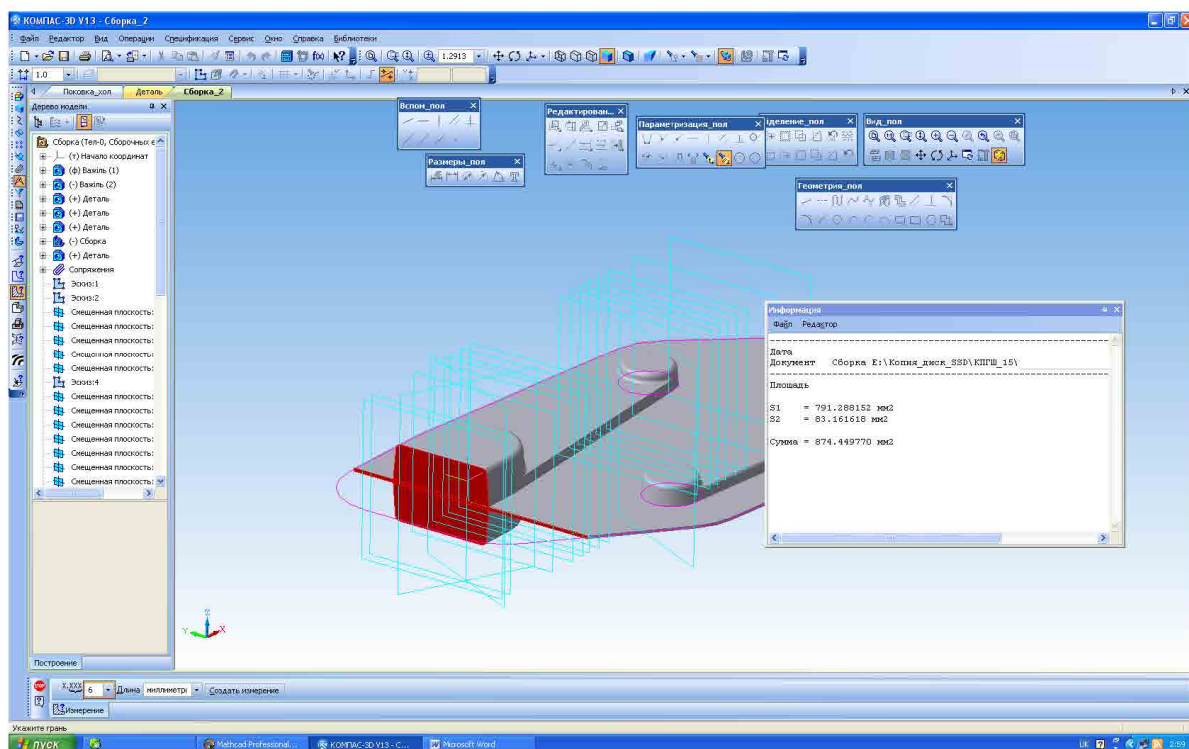
$$M := 10$$

Об'єм всієї розрахункової заготовки дорівнює:

$Fe := 9575.7$ - площа епюри розрахункової заготовки, мм² (визначається засобами SolidWorks).

$$Ve := Fe \cdot M \quad Ve = 9.576 \times 10^4 \quad \text{мм}^3$$

а)



б)

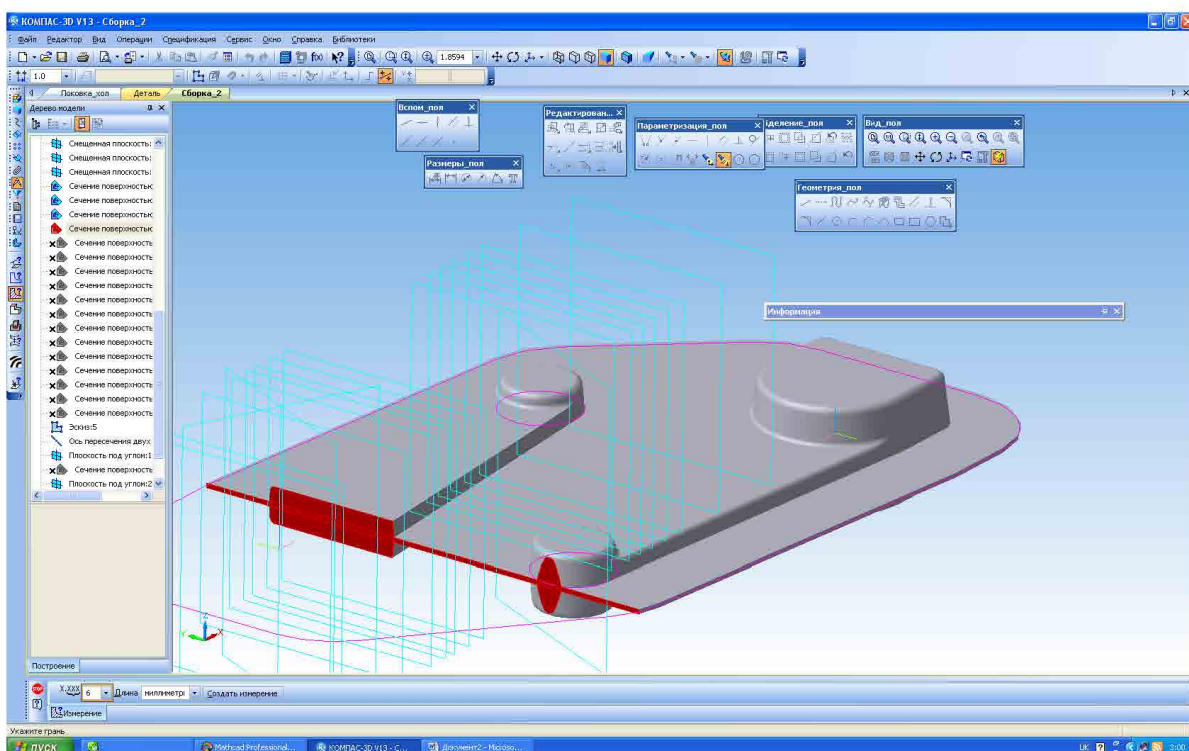


Рисунок 1.5 – До розрахунку епюри перерізів поковки "Важіль" на основі тривимірної моделі а) –переріз №2; б) –переріз №.4

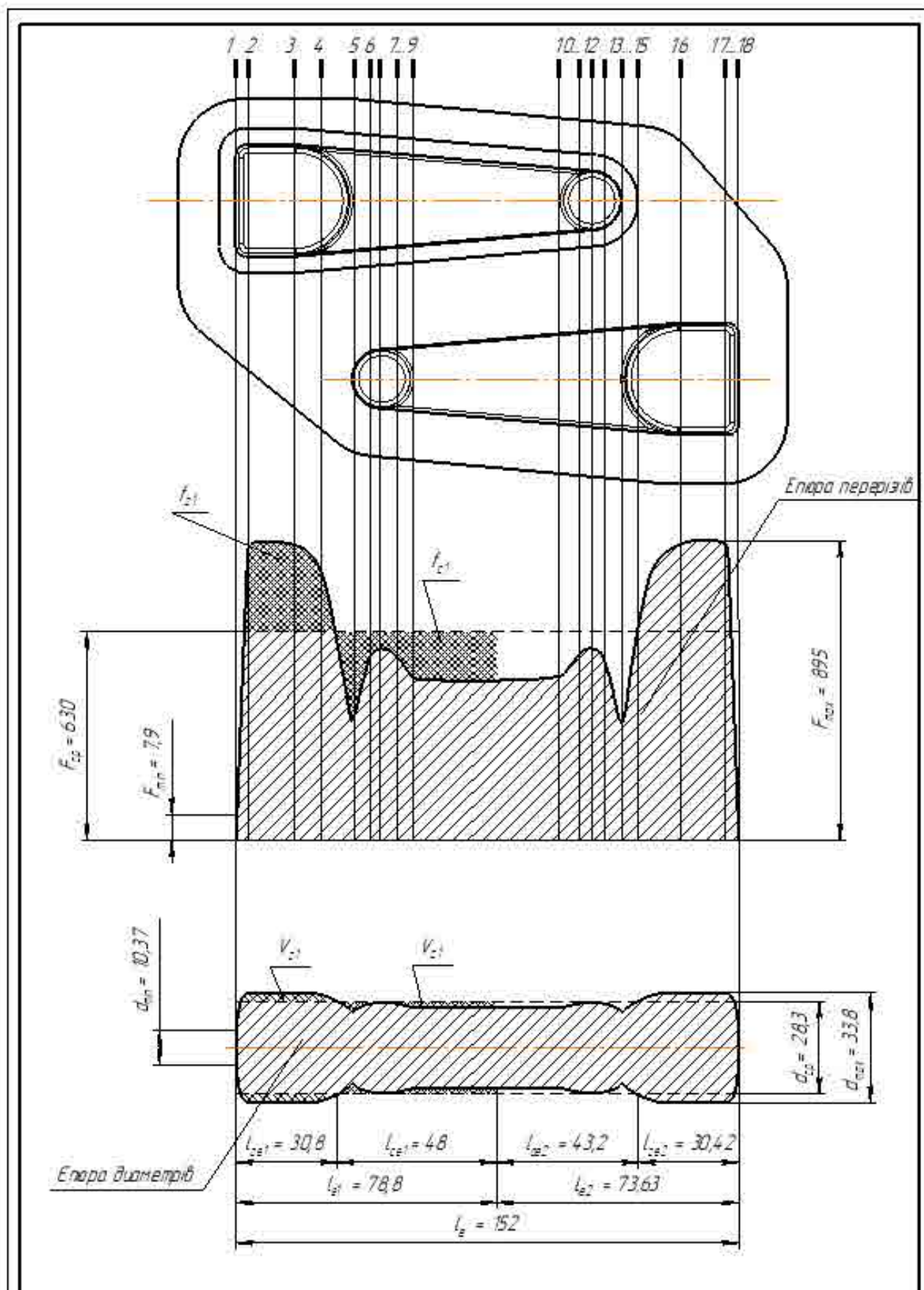


Рисунок 1.6 – Розрахункова заготовка

Таблиця 1.4 - Розрахункова таблиця для побудови епюри перерізів

№ перерізу	$S_n, \text{мм}^2$	$S_{з.к}, \text{мм}^2$		$S_e, \text{мм}^2$	$M, \text{мм}^2/\text{мм}$	$h_e, \text{мм}$	$d_e, \text{мм}$
1	78,90	0,00	1,00	78,90	10,00	7,89	10,04
2	874,50	0,00	1,00	874,50	10,00	87,45	33,42
3	885,40	0,00	1,00	885,40	10,00	88,54	33,62
4	813,30	0,00	1,00	813,30	10,00	81,33	32,23
5	402,30	0,00	1,00	402,30	10,00	40,23	22,66
6	567,00	0,00	1,00	567,00	10,00	56,70	26,91
7	583,10	0,00	1,00	583,10	10,00	58,31	27,29
8	567,00	0,00	1,00	567,00	10,00	56,70	26,91
9	481,70	0,00	1,00	481,70	10,00	48,17	24,80
10	481,70	0,00	1,00	481,70	10,00	48,17	24,80
11	572,10	0,00	1,00	572,10	10,00	57,21	27,03
12	583,10	0,00	1,00	583,10	10,00	58,31	27,29
13	560,10	0,00	1,00	560,10	10,00	56,01	26,74
14	352,60	0,00	1,00	352,60	10,00	35,26	21,22
15	397,20	0,00	1,00	397,20	10,00	39,72	22,52
16	697,80	0,00	1,00	697,80	10,00	69,78	29,85
17	884,90	0,00	1,00	884,90	10,00	88,49	33,61
18	78,90	0,00	1,00	78,90	10,00	7,89	10,04

Середньою розрахунковою заготовкою називають циліндр діаметром d_{cp} , довжиною, яка дорівнює довжині поковки ($l_e=l_n$) і об'ємом, який дорівнює сумі об'ємів поковки V_n і облою V_o .

Площина перерізу середньої розрахункової заготовки:

$$l_e := 152.0 \quad \text{мм}$$

$$S_{cp} := \frac{V_e}{l_e} \quad S_{cp} = 629.98 \quad \text{мм}^2$$

Діаметр середньої розрахункової заготовки, d_{cp} :

$$d_{cp} := 1.13\sqrt{S_{cp}} \quad d_{cp} = 28.362 \quad \text{мм}$$

Згідно виконаних розрахунків та графічних побудов (див. епюру перерізів рис.1.6.) визначаємо, що розрахункова заготовка відноситься до складних, тому що має дві головки і один стрижень. 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 [6, 7, 10].

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

$$d1_{\max} := 33.8 \quad l1e := 78.8$$

$$d2_{\max} := 33.8 \quad l2e := 73.6$$

$$\alpha 1 := \frac{d1_{\max}}{d_{cp}} \quad \alpha 2 := \frac{d2_{\max}}{d_{cp}}$$

$$\beta 1 := \frac{l1e}{d_{cp}} \quad \beta 2 := \frac{l2e}{d_{cp}}$$

$$\alpha 1 = 1.192 \quad \alpha 2 = 1.192$$

$$\beta 1 = 2.778 \quad \beta 2 = 2.595$$

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

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.

$$V_{\Pi} := 95760 \quad \text{-об'єм поковки, мм}^3;$$

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

$$V_{\text{ЗГ}} := V_{\Pi} + V_{\text{ВГ}} \quad V_{\text{ЗГ}} = 1.034 \times 10^5 \text{ мм}^3$$

Площа поперечного перерізу заготовки визначається по [6, 7.]

$$S_{\text{ЗГ}} := 1.04 \cdot S_{cp} \quad S_{\text{ЗГ}} = 655.179 \text{ мм}^2$$

Довжина заготовки, мм

$$l_3 := \frac{V_{\text{ЗГ}}}{S_{\text{ЗГ}}} \quad l_3 = 157.851$$

$$\text{Приймаємо} \quad l_3 := 158$$

Вибираємо квадратний профіль поперечного перерізу заготовки.

Сторона квадрата Св:

$$C_{\text{В}} := \sqrt{S_{\text{ЗГ}}} \quad C_{\text{В}} = 25.596 \text{ мм}$$

По сортаменту (ДСТУ 4746.2007) приймаємо сталь гарячекатану квадратну з найближчою більшою стороною квадрата [12].

$$C_B := 26 \text{ мм}$$

Перераховуємо площину поперечного перерізу заготовки

$$F_B := C_B^2$$

$$F_B = 676 \text{ мм}^2$$

Згідно розрахунку вибираємо прокат квадратного поперечного перерізу зі стороною квадрата 26 мм та довжиною 3,750 м, з граничним відхиленням по довжини +50мм.

З одного прутка отримуємо 23 заготовок довжиною 158 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:

$$K_p := 1.4 \quad \sigma_B := 420 \quad F_B := 676$$

$$P := K_p \cdot \sigma_B \cdot F_B \quad P = 3.975 \times 10^5 \text{ Н}$$

Вибираємо ножиці зусиллям, більшим порівняно з розрахованим, модель НБ 1425

Номінальне зусилля, тс (МН)	40 (0,4)
Сторона квадрата прутка, мм	32
Число ходів в хвилину	63
Потужність приводів, кВт	2,5
Габаритні розміри, мм:	
Довжина	1090
Ширина	900
Висота	1350
Маса, т	1,24

1.4.3 Розрахунок витрат і розкрою метала

Згідно [12] приймаємо $L_{p,y} = 3750 \text{ мм}$.

Вирішуємо питання раціонального розкрою метала та точності заготовки:

Коефіцієнт використання металу:

$$\eta_s = \frac{L_n}{L_{p.y}} = \frac{3700,1}{3750} = 0,987$$

де L_n - корисна довжина прутка, мм [6,7].

$$L_n = L_{p.y} - \sum_{л.п} = 3750 - 49,9 = 3700,1 \text{ мм}$$

де $\sum_{л.п}$ - сума абсолютних лінійних втрат металу при різанні.

$$\sum_{л.п} = l_{від} + l_{обр} = 39,5 + 10,4 = 49,9 \text{ мм}$$

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

$$l_{обр} = (0,3 \div 0,5) \cdot a = 0,4 \cdot 26 = 10,4 \text{ мм},$$

де d – діаметр заготовки, мм.

Кількість заготовок із прутка визначаємо із співвідношення:

$$n = \frac{L_{p.y} - l_{обр}}{L} = \frac{3750 - 10,4}{158} = 23,67 \text{ шт},$$

де L - довжина заготовки на одну деталь, мм.

Визначаємо довжину відходу:

$$L = L_{p.y} - l_{обр} - (n_{зг} \cdot L_{зг}) = 3750 - 10,4 - (23 \cdot 158) = 105,6 \text{ мм}$$

Визначаємо розхідний коефіцієнт:

$$k = \frac{L_{p.y}}{L_{p.y} - \sum_{л.п}} = \frac{3750}{3750 - 49,9} = 1,013$$

Сумарну вагу відходів на кожний пруток отримаємо з рівняння:

$$\sum Q' = \frac{q \cdot \sum_{л.п}}{1000} = \frac{5,272 \cdot 49,9}{1000} = 0,263 \text{ кг},$$

де q – вага 1м. прутка.

Норма витрат металу на поковку:

$$N = Q_s / n = 19,77 / 46 = 0,43 \text{ кг};$$

Допуски на довжину заготовки згідно [12]: $\Delta = \pm 0,8 \text{ мм}$.

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 нагріваемого металу, що в 10 раз менше , ніж при нагріванні в полумєневих печах. Зменшення окалини покращує якість поковок та збільшує стійкість штамів ковальсько-пресового обладнання.

Вибираємо індукційний нагрівач безперервної дії КИН 10-250/10П 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

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

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

$F_o := 2916$ - площа проекції містка облою, мм²;

$F_{\Pi} := 6140.2$ - площа проекції поковки на площину роз'єму, мм^2 ;

$L_{\Pi} := 158$ - максимальний габаритний розмір поковки в плані, мм ;

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

$a = 38.862$

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

$$P = 7.06 \times 10^6 \text{ Н}$$

1.6.2 Вибір КГШП

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 [6, 7, 13, 14] обираємо холодне обрізання облою. Необхідне для обрізання облою зусилля обрізного пресу визначається за формулою

$S := 552.58 \text{ мм}$ - периметр різу (визначається засобами Компас-Графік)

z - розмір який визначається графічно по лінії зрізу облою (визначається засобами КОМПАС-ГРАФІК).

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

$z := 3.9 \text{ мм}$

$n := 0.8 \text{ мм}$

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

$t_o = 4.7 \text{ мм}$

$$P_{об} := 1.8 \cdot 10^{-6} \cdot S \cdot t_o \cdot \sigma_{св} \quad P_{об} = 1.963 \text{ МН}$$

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 2500 кН

Модель KB 9534

Прес однокривошипний закритий простої дії.

Технічна характеристика :

Номінальне зусилля, кН	2500
Хід повзуна, мм	320
Частота ходів повзуна, 1/хв :	
безперервних	32
Розмір регулювання відстані між підштамповою плитою та повзуном, мм	530
Розмір стола, мм	800x800
Розміри повзуна, мм	700x700
Сумарна потужність електродвигунів, кВт	32,5
Габаритні розміри, мм	2700x2500x4690
Маса, кг	81192

1.8 Вибір режимів термообробки поковок.

Для вилучення внутрішніх напруг, наклепу та покращення механічних властивостей застосовують термічну обробку - нормалізацію [6, 7, 13].

Нормалізація включає нагрівання доевтектоїдної 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. Охолоджуюче середовище- повітря.

Вибираємо обладнання для нагрівання :

Камерна електропід опору : Модель 1СНЗ-8,5.14.6,5/8,5	
Установлена потужність, кВт	100
Номінальна температура, °C	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 ходу, 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 [2, 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 [6, 7].

Зусилля преса: $P = q_k \cdot F$

q_k -питоме зусилля правки, МПа

F - початкова площа поверхні правки, мм²

$$q_k := 200 \text{ МПа} \quad F_{\text{п}} := 2872 \text{ мм}^2$$

$$P := q_k \cdot F_{\text{п}} \quad P = 5.744 \times 10^5 \text{ Н}$$

Вибираємо гвинтовий прес.

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 Н, 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 [6, 14].

Вибираємо штангенциркуль ШЦ-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 [6, 7, 10].

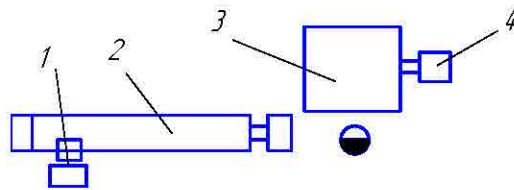


Рисунок 1.7 - Організація робочого місця штампувальника КГППІ:
1- завантажувач; 2-індуктор; 3-КГППІ; 4-тара для поковок.

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

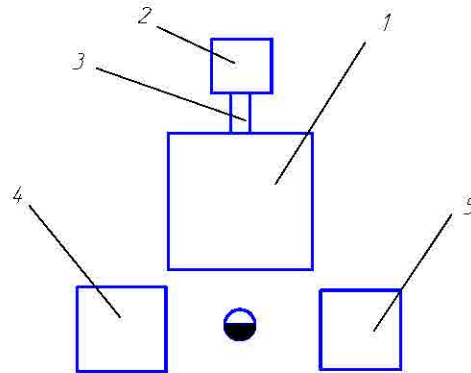


Рисунок 1.8 - Організація робочого місця штампувальника:
1- обрізний прес; 2-тара для поковок; 3-склиз; 4-тара для заготовок,
5- тара для облою.

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, 14]. Продуктивність штампувальної ділянки визначаємо по найбільш завантаженому робітнику бригади.

Вихідні дані :
 Деталь – важіль
 Матеріал – Сталь 20
 Вага заготовки, кг – 0,833
 Вага поковки, кг – 0,833
 Зусилля КГШП, МН – 10
 Кількість рівчаків в штампі – 3
 Зусилля обрізного пресу, МН – 2,5
 Бригада – 2 робітника

Найменування переходів	Вага заготовки	Повтор прийомів	час, хв	
			Основ	Допом

Оперативний час штампувальника КГШП

1.Взяти заготовку кліщам ми з транспортера , вста- новити в рівчак та натиснути педаль	0,833	1	-	0,025
2.Штампувати заготов- ку в 3-х рівчаках	0,833	3	0,033	-
2.1. Перекласти поковку в пережимний рівчак	0,833	1	-	0,018
2.2. Перекласти поковку в попередній рівчак та натиснути педаль	0,833	1	-	0,018
2.3. Перекласти поковку з попереднього рівчака в кінцевий та натиснути пе- даль	0,833	1	-	0,018
5.Винути поковку з рівчака та кинути на склиз	0,833	1	-	0,015

Разом..... 0,033 0,094

$$T_{оп.в.}=T_o+T_v=0,033+0,094=0,127 \text{ хвил}$$

Оперативний час пресувальника по обрізанню облою

1.Взяти поковку кліщам ми з тари, по- класти на штамп та нажати педаль	0,833	1	-	0,052
---	-------	---	---	-------

2.Обрізати		1	0,025	-
3.Зняти задирку зі штампа кліщами та відкинути в тару	0,1	1	-	0,018
Всього.....			0,025	0,07

$$T_{\text{оп.в.}} = (T_{\text{в}} + T_{\text{о}}) / 2 = (0,025 + 0,07) / 2 = 0,048 \text{ хвил}$$

Оперативний час пресувальника по правці поковки

1.Взяти поковку кліщам, покласти на штамп та натиснути педаль, здійснити правку	0,322	1	0,035	0,052
2.Винути поковку з штампу та відкинути в тару	0,11	1	-	0,028
Всього.....			0,035	0,08

$$T_{\text{оп.в}} = T_{\text{о}} + T_{\text{в}} = 0,035 + 0,08 = 0,115 \text{ хвил}$$

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

$$T_{\text{ш}} = T_{\text{оп.}} \times K = 0,127 \times 1,27 / 2 = 0,081 \text{ хвил.}$$

Норма виробітки визначається з формули:

$$N_{\text{в}} = 420 \text{ хвл} / T_{\text{ш}} = 420 / 0,085 = 5185 \text{ шт.}$$

1.14 Складання карти технологічного процесу гарячого штампування

Результати розробки технологічного процесу штампування фіксуємо в технологічній карті (див. додаток Б).

2 КОНСТРУЮВАННЯ ШТАМПІВ

2.1 Конструювання штампу КГШП

2.1.1 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.

$$l := 24 \text{ мм}$$

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

$$t := 850^{\circ}$$

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

$$a = 24.245 \text{ мм}$$

Результати розрахунку інших розмірів наведені нижче

Розміри холодної поковки, мм	Розміри гарячої поковки, мм
116,0	117,1
90	90,9
34	34,3
17	17,2
14	14,1
8	8,1
9	9,1

2.1.2 Розрахунок та конструювання штампувальних рівчаків

Штампувальні рівчаки виготовляємо за кресленням гарячої поковки, яке складаємо згідно відповідних правил [6, 7, 14]:

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 – $1,5^{\circ}$;

Усадка врахована – 1,5%.

Чистовий рівчак виготовляємо за кресленням гарячої поковки згідно рекомендацій [6, 7, 14].

Чорновий рівчак конструємо згідно [6, 7, 14] за

кресленням гарячої поковки. Штампувальні уклони – 5° .

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

2.1.3 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 відбувається за допомогою відлипачів 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

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.

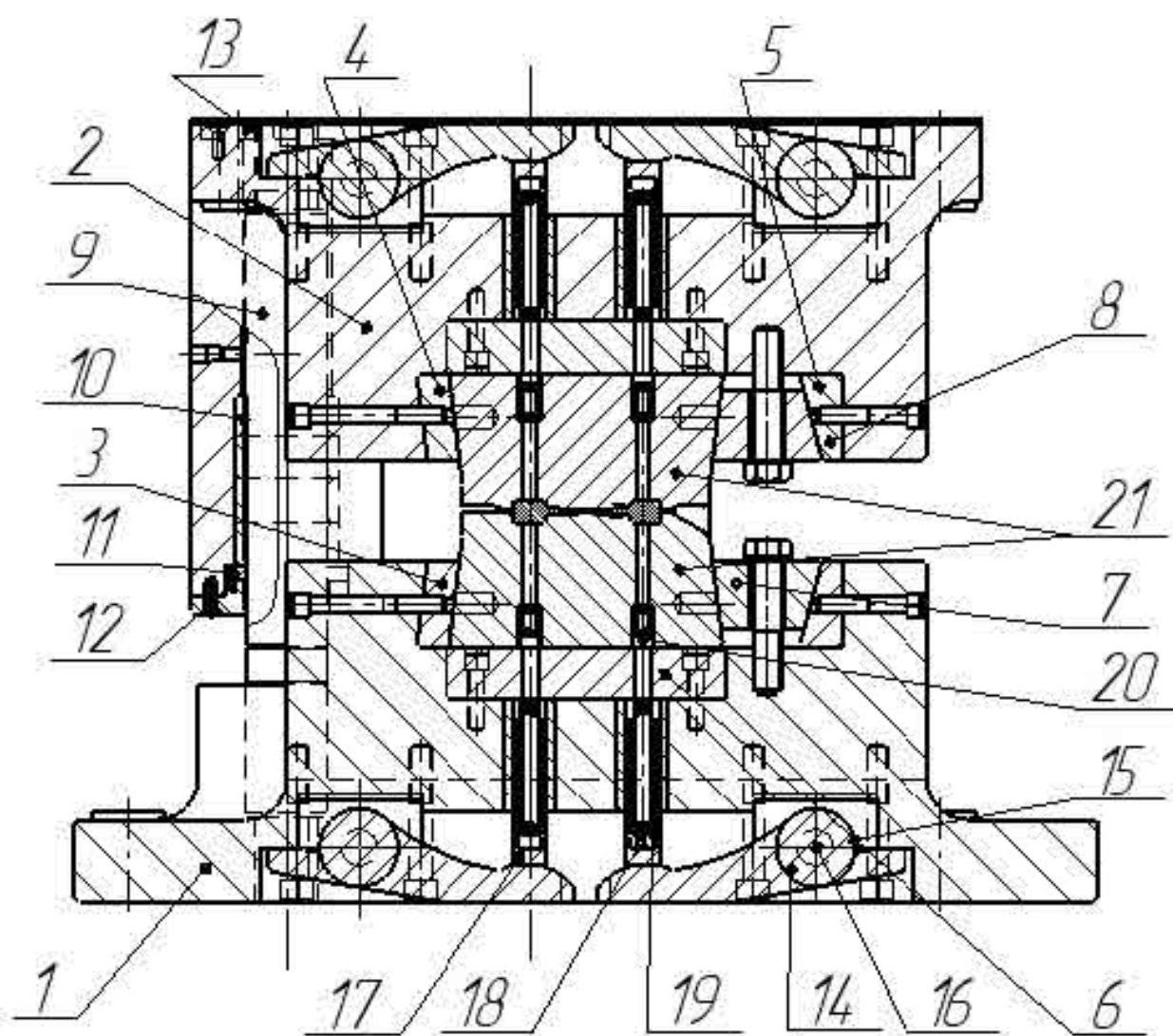


Рисунок 2.1 – Схема штампа КГШП

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 [6].

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

Для вставок використовується сталь підвищеної теплоstійкості 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 теплоstійкості є підвищений зміст карбідоутворюючих елементів (Cr, Mo, W, V та інші) при 0,4%С.

Рекомендована температура гаргування 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 штамп для запобігання крихкого руйнування необхідно підігрівати перед початком роботи до температури 300-350 °С.

Плиту верхню та нижню виконуємо із сталі 30Л (ДСТУ 8781-2018), твердість HB ? 255.

Колонки і втулки виготовляємо із сталі 20 (ДСТУ 7809.2015) з наступною цементацією.

Плиту підкладну виготовляємо із сталі 40X (ДСТУ 7806:2015) HB 378-432. Планки бокові, задні, передні та прижими виготовляємо з сталі 40X, HRC 40-45.

2.2 Конструювання штамп для обрізання облою

Обрізання облою будемо виконувати у холодному стані, оскільки поковка відноситься до дрібних по розміру і має вміст вуглецю до 0.4% [6]. Для обрізання облою вибираємо штамп простої дії. Обрізання облою виконується на окремому участку гарячештампувального цеху.

Виходячи з габаритів поковки розраховуємо ширину та довжину матриць та визначаємось з розмірами штампового блоку.

Штамп обрізний складається з наступних деталей (рис. 2.2.):

1- корпус нижній; 2- корпус верхній; 3- пуансон; 4- напрямна колонка; 5- хвостовик; 6- плитка підкладна; 7- пуансонотримач; 8- втулка напрямна; 9-знімач; 10- втулка розпірна; 11- гвинт упорний; 12- матриця.

Штамп обрізний працює наступним чином. Поковка подається в робочу зону штамп штампувальником. На першій операції поковка укладається в обрізну матрицю 12 і при ході повзуна пресу униз відбувається обрізання облою пуансонами 3. Поковка провалюється через провальний отвір на підкладну плиту і вилучається штампувальником.

Облой залишається на матриці і кліщами вилучається в тару для відходів.

Величину зазору між пуансоном і ріжучим контуром матриці знаходимо по [2, табл. 1, с.482] $d = 0,6$ мм.

Матрицю виконуємо по розмірах холодної поковки, а розмір пуансона зменшуємо на величину зазора.

Матрицю виконуємо суцільною, оскільки контур поковки не є складним.

Ріжучий контур матриці виготовляємо по контуру поковки в площині розгему з припуском на слюсарну підгонку по розмірах поковки, що обрізається.

Матрицю закріплюємо гвинтами, направленими під кутом 5 до її опорної поверхні, які розташовані в двох взаємно перпендикулярних напрямках.

Для того, щоб зняти облой з пуансону використовуємо жорсткий знімач, який закріплюється на нижній плиті болтами через розпирні втулки.

В нашому випадку пуансон є давлячим інструментом і не входить до матриці. Щоб запобігти вигину та зім'яття виступаючих частин обрізаємої поковки необхідно, щоб опорні поверхні пуансону прилягали до відповідних поверхонь поковки. Конфігурацію опорної поверхні в пуансоні виконуємо по кресленню поковки з наступною слюсарною підгонкою по поковці або контрольної відливки з кінцевого рівчака штампа. По неопорним поверхням між поковкою і пуансоном передбачається зазор який приймається рівним половині верхнього відхилення допуску на відповідний горизонтальний розмір поковки із збільшенням його на 0,3...0,5 мм.

Між пуансоном та верхньою плитою штампу встановлюємо підкладну плитку товщиною 8 мм. Пуансон закріплюємо 4-ма болтами, які проходять крізь пуансонотримач до верхньої плити штампа і фіксуємо двома штифтами.

Матеріал для нижньої та верхньої плити сталь 30Л (ДСТУ 8781-2018); твердість HB 255. Плити вибираємо згідно розмірів поковки [6, 14]. Матеріал колонок сталь 20 (ДСТУ 7809.2015) з наступною цементацією [6,14]. Матеріал втулок сталь 20 з наступною цементацією на глибину 0,5-1 мм HRC 58-68 [6, 14]. Знімач виконуємо із сталі 45 (ДСТУ 7809:2015), твердість HB 229-285. Для матриці вибираємо матеріал Х12М (ДСТУ 3953-2000), для пуансону 8ХФ. Температура гартування сталі Х12М 850-880°C, охолодження в маслі, твердість 54 HRCe. Твердість після відпуску 38-44 HRC з температури 480-520 °С.

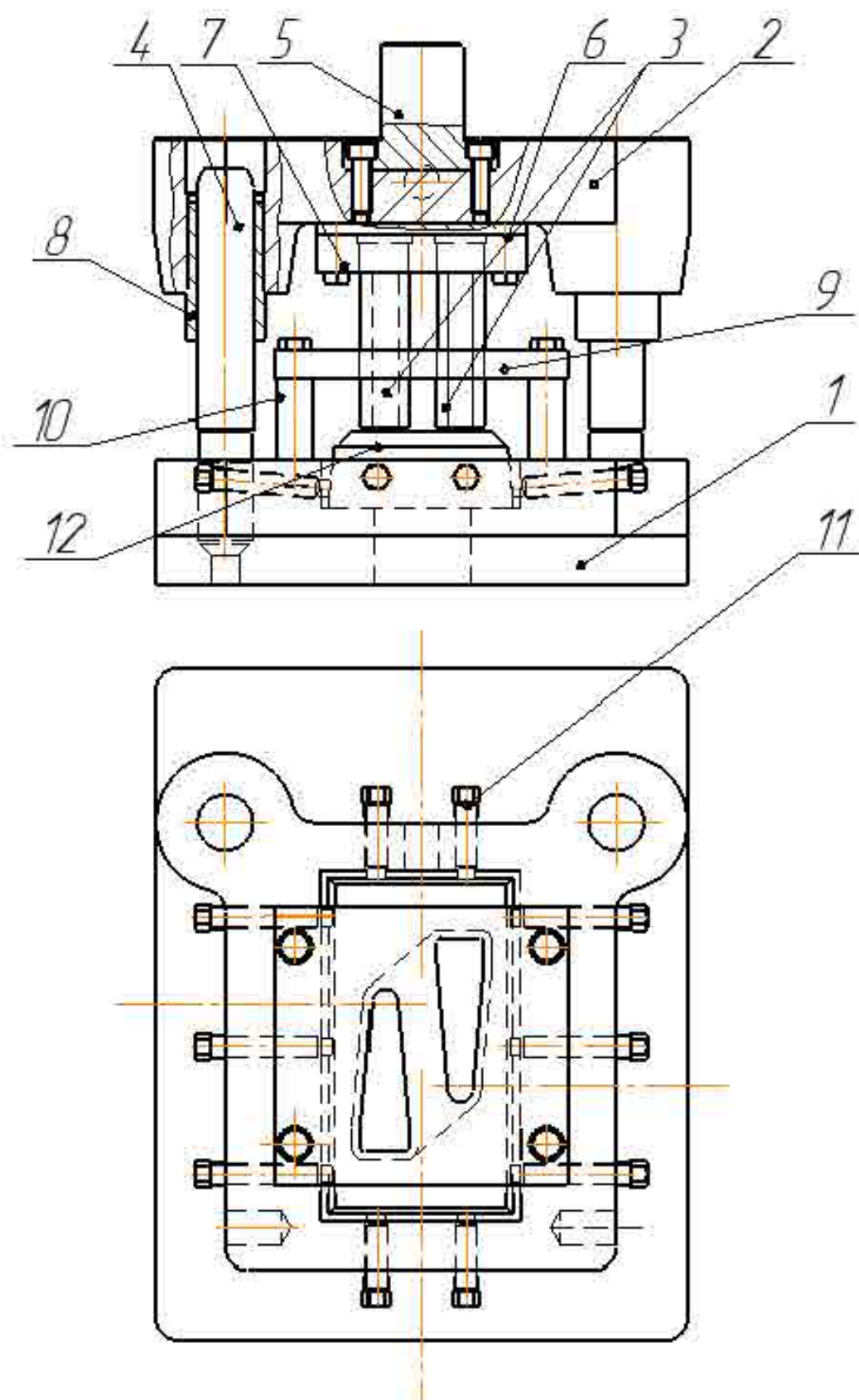


Рисунок 2.2 – Схема штампа для обрізування облою

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Важелі є ключовими конструктивними елементами транспортних засобів, сільськогосподарської техніки та промислового обладнання, де вони виконують функцію передачі механічних зусиль та переміщень. Зважаючи на дію складних циклічних навантажень у процесі експлуатації, до таких деталей висуваються суворі вимоги щодо міцності, жорсткості та стабільності геометричних параметрів.

Запропонований технологічний процес базується на методі спареного штампування: дві поковки розташовуються у штампі зустрічно-паралельно. Така конфігурація забезпечує раціональніший розподіл металу заготовки, покращує умови його деформування та дозволяє відмовитися від операції вальцювання. **Актуальність** роботи полягає в удосконаленні процесу гарячого об'ємного штампування, що дозволяє підвищити продуктивність і рентабельність масового виробництва поковок при одночасному зниженні їх собівартості..

2. Проаналізована конструкція деталі «Важіль», її матеріал, маса, призначення та вимоги до заготовки.

3. Обґрунтовано вибір гарячого об'ємного штампування на КГШП як раціонального способу виготовлення поковки в умовах масового виробництва. Розроблена базова та пропонована схеми виготовлення поковки, виконано порівняння одиничного і спареного штампування.

4. Визначено масу поковки, об'єм металу, припуски, штампувальні нахили, радіуси заокруглень і параметри облою. Розроблена послідовність переходів штампування.

5. Розраховано розміри вихідної заготовки для спареного штампування з урахуванням двох поковок, облою, угару та технологічних втрат.

6. Визначено зусилля штампування і обрізування облою та вибрано відповідне обладнання. Призначено завершальні операції гарячого об'ємного штампування.

7. Розроблені складальні кресленики штампів КГШП і для обрізування облою та виконані робочі кресленики окремих деталей.

8. Розроблені рекомендації щодо впровадження спареного штампування у масовому виробництві.

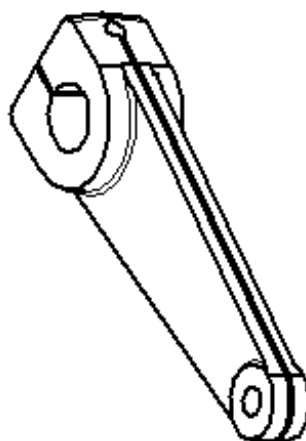
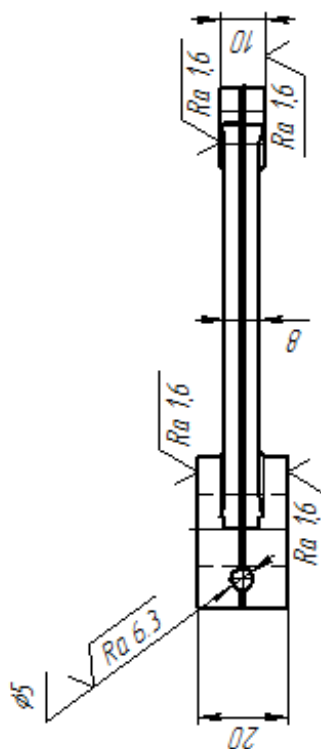
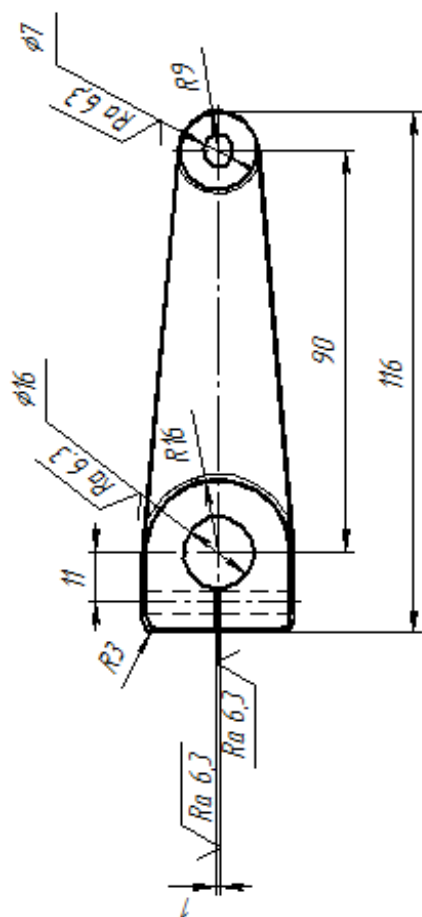
Перелік джерел посилання

1. Altan T., Ngaile G., Shen G. Cold and Hot Forging: Fundamentals and Applications. Materials Park : ASM International, 2005. 341 p. DOI: <https://doi.org/10.31399/asm.tb.chffa.9781627083003>. URL: https://ressources.unit.eu/cours/MediaMef3/module-forgeage-materiaux/res/Cold_and_Hot_Forging_Fundamentals_and_Applications.pdf (дата звернення: 05.06.2026).
2. Hawryluk M. R., Rychlik M., Polak S., Zwierzchowski M., Dudkiewicz Ł., Marzec J., Jabłoński P. Analysis and Improvement of an Industrial Process of Hot Die Forging of an Elongated Forging Tipped with a Joggle with the Use of Numerical Simulation Results. Advances in Science and Technology Research Journal. 2023. Vol. 17, No. 2. P. 192–205. DOI: <https://doi.org/10.12913/22998624/162158>. URL: <https://www.astrj.com/pdf-162158-88651?filename=Analysis+and+Improvement.pdf> (дата звернення: 25.06.2026).
3. Closed-die forging presses / SMS group GmbH. URL: <https://www.sms-group.com/plants/closed-die-forging-presses> (дата звернення: 05.06.2026).
4. Z94.12.1 Forging / Institute of Industrial and Systems Engineers. URL: <https://www.iise.org/details.aspx?id=2712> (дата звернення: 05.06.2026).
5. Dziubińska A. The New Technology of Die Forging of Automotive Connecting Rods from EN AB-71100 Aluminium Alloy Cast Preforms. Materials. 2023. Vol. 16, No. 7. Article 2856. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma16072856>. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1944/16/7/2856> (дата звернення: 25.06.2026).
6. Носуленко В. І. Кування і гаряче об'ємне штампування : Навчальний посібник. – Кропивницький, : ЦНТУ, 2017, – 224 с.
7. 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.
8. Solidworks у завданнях 3D моделювання та інжинірингу технічних систем. Навч. посібник / В.Я. Ворошук, Т.М. Вітенько. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 164 с.

9. Кундрат А.М., Кундрат М.М. Науково-технічні обчислення засобами MathCAD та MS Excel. Навч. посібник. – Рівне: НУВГП. 2014, – 252 с.
10. Поковки сталеві штамповані. Допуски, припуски та ковальські напуски. URL: <https://auremo.vip/gosts/gost-7505-89.html> (дата звернення: 16.05.2026)
10. Методичні рекомендації до практичних занять та курсового проектування з дисципліни “Кутання і гаряче об’ємне штампування” / Укл. В.І. Носуленко, В.Я. Мірзак – Кропивницький: ЦНТУ, 2019. – 36 с.
11. 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).
12. Metinvest-smc. URL: <https://metinvest-smc.com/ru/steel/stal-20/?srsltid=AfmBOor5HoL-8ozZz9Vjmpu2kRswJvq9-RnCUihNllCiaxZG0-LJuTlo> (дата звернення: 20.05.2026).
13. Гаряче об’ємне штампування / І.С. Алієв, Я.Г. Жбанков. – Краматорськ: ДДМА, 2012. – 240 с.
14. Технологія гарячого штампування та конструювання штампів. Конспект курсу лекцій для студентів напряму підготовки 6.050502 "Інженерна механіка" / В.В. Іващенко. - К: НТУУ «КПІ», 2012. - 144 с.

Додатки

17



1. Розміри для довідок.
2. $H2$, $h12$, $\pm \Pi \frac{12}{2}$.
3. Невказані радіуси закруглень $R3$ мм.
4. Невказані уклони 5° .

[illegible]

Б.2 Другий аркуш технологічної карти

№ з/п	Назва операції, переходу	Ескіз переходів	Температурний режим кування і термообробки						Обладнання	Норма		Робоча сила		
			підгрівання			нагрів				хвд. шт.	шт. годин	професія	розряд	кіль- кість
			одночасне сальвання	темпе- ратура	час підігрі- вання	темпе- ратура	нагрі- вання, у хвд.	втримка, у хвд.						
6.	Контроль							Шаблон, Штангенциркуль						
7.	Допоміжні операції													
7.1	Обрізання облоку							Штанга пресої дії	Прес обрізний КВ 9534 2,5 МН	0,048		Штангувальник	III	1
8.	Контроль							Шаблон, Штангенциркуль						
9.	Термообробка					800			Камерна елек- троніч опору 1СНЗ- 8,5.14.6.58,5			Нагрівальник	IV	1
10.	Контроль							Твердомір по Бринеллю	Дробоструй- ний апарат 334М			Гартувальник	II	1
11.	Очищення													
12.	Правка							Штанга для правки	Гвинтовий прес Рм=0,63 МН	0,115		Штангувальник	III	1
13.	Контроль							Шаблон				Контролер	III	1

ДОДАТОК В

**Специфікація до складального кресленика
штампу КГШП**

В.1 Перший аркуш специфікації

Поз.	Познака	Найменування	Кіл.	Посилання	Матеріал
		<u>Документація</u>			
	КРБ.ПМ.26.53.32.10.00	Складальне креслення			
		<u>Деталі</u>			
1	КРБ.ПМ.26.53.32.10.01	Плита нижня	1		
2	КРБ.ПМ.26.53.32.10.02	Плита верхня	1		
3	КРБ.ПМ.26.53.32.10.03	Планка бокова	1		
4	КРБ.ПМ.26.53.32.10.04	Планка задня	1		
5	КРБ.ПМ.26.53.32.10.05	Планка передня	1		
6	КРБ.ПМ.26.53.32.10.06	Плита підкладна	1		
7	КРБ.ПМ.26.53.32.10.07	Притискувач боковий	1		
8	КРБ.ПМ.26.53.32.10.08	Притискувач	1		
9	КРБ.ПМ.26.53.32.10.09	Колонка напрямна	2		
10	КРБ.ПМ.26.53.32.10.10	Втулка напрямна	2		
11	КРБ.ПМ.26.53.32.10.11	Сальник	2		
12	КРБ.ПМ.26.53.32.10.12	Кришка сальника	2		
13	КРБ.ПМ.26.53.32.10.13	Важіль двуплечий	1		
14	КРБ.ПМ.26.53.32.10.14	Підшипник	1		
15	КРБ.ПМ.26.53.32.10.15	Кришка підшипника	1		
16	КРБ.ПМ.26.53.32.10.16	Стакан	8		
17	КРБ.ПМ.26.53.32.10.17	Штовхач	8		
18	КРБ.ПМ.26.53.32.10.18	Пружина	8		
19	КРБ.ПМ.26.53.32.10.19	Штовхач	8		
20	КРБ.ПМ.26.53.32.10.20	Пружина	8		
Виправлено: 2025-03-06		Технічне узгодження	Відомості про документи	Документ звіт про виконання	Масштаб
Кафедра ММР		Володимир МІРЗАК	Денис ВАХІНСЬКИЙ	Андрій ГРЕЧКА	1:1
Власник документу		Специфікація		Лист 1 з документації	
		Штамп КГШП		Ідентифікація	
				КРБ.ПМ.26.53.32.10.00	
		№ зм.	Дата внесення	Час	Архив
		А	2025-03-06	10:00	1/2

В.2 Другий аркуш специфікації

[illegible]

ДОДАТОК Г

**Специфікація до складального кресленика
штампу для обрізування облою**

Поз.	Познака	Найменування	Кіл.	Посилання	Матеріал
		<u>Документація</u>			
	КРБ.ПМ.26.53.32.11.00	Складальне креслення			
		<u>Деталі</u>			
1	КРБ.ПМ.26.53.32.11.01	Матриця	1		
2	КРБ.ПМ.26.53.32.11.02	Колонка	2		
3	КРБ.ПМ.26.53.32.11.03	Хвостовик	1		
4	КРБ.ПМ.26.53.32.11.04	Плитка підкладна	1		
5	КРБ.ПМ.26.53.32.11.05	Пцансонотримач	2		
6	КРБ.ПМ.26.53.32.11.06	Втулка	2		
7	КРБ.ПМ.26.53.32.11.07	Знімач	1		
8	КРБ.ПМ.26.53.32.11.08	Втулка дистанційна	4		
9	КРБ.ПМ.26.53.32.11.09	Плита нижня	1		
10	КРБ.ПМ.26.53.32.11.10	Пцансон	1		
11	КРБ.ПМ.26.53.32.11.11	Плита верхня	1		
		<u>Стандартні вироби</u>			
		Болт DIN 479			
13		M16×55.58	4		
14		M16×90.58	4		
		Болт DIN 931	2		
15		M12×50.58	4		
16		M12×110.58	4		
17		Гвинт 12×90.58 DN 912	4		
Зроблено за замовленням		Технічне узгодження	Зроблено за замовленням	Документ затверджено	Посилання
Кафедра ММР		Володимир МРЗАК	Денис ВАХНАК	Андрій ГРЕЧКА	11
Власник документа		Вид документа		Лист у документі	
Центральноукраїнський національний технічний університет		Специфікація		Наб чальний	
		Різдво: Штамп для обрізування облою		Позначення КРБ.ПМ.26.53.32.10.00	
Від. змі.	Від. змі.	Від. змі.	Від. змі.	Від. змі.	Від. змі.
А	2025-03-06	uk	1/3		

ДОДАТОК Д

Рекомендації щодо впровадження спареного штампування у масовому виробництві

Для впровадження удосконаленого технологічного процесу виготовлення деталі «Важіль» у масовому виробництві рекомендується застосовувати гаряче об'ємне штампування на кривошипному гарячештампувальному пресі у штампі КГШП зі спареним розташуванням двох поковок. Така схема дозволяє за один робочий хід преса формувати дві поковки з однієї нагрітої заготовки, що є основним резервом підвищення продуктивності порівняно з базовим варіантом одиничного штампування.

Вихідну заготовку доцільно виготовляти різанням сортового прокату на мірні заготовки. Довжина та маса заготовки мають визначатися розрахунком з урахуванням маси двох деталей, припусків на механічну обробку, об'єму облою, втрат металу на угар під час нагрівання та технологічного запасу на стабільне заповнення рівчаків. Оскільки маса однієї деталі становить 246 г, маса металу для спареної поковки повинна прийматися не меншою за подвійну масу деталі з урахуванням усіх технологічних втрат. Остаточну масу заготовки необхідно уточнювати після розроблення креслення поковки та визначення параметрів облойної канавки.

Матеріалом деталі є сталь 20, яка добре деформується у гарячому стані та придатна для виготовлення штампованих поковок машинобудівного призначення. Нагрівання заготовок рекомендується виконувати у печі або індукційному нагрівачі до температурного інтервалу гарячого штампування, прийнятого для сталі 20 згідно з технологічними нормативами підприємства. При цьому необхідно забезпечити рівномірне прогрівання заготовки по всьому перерізу, не допускати перегрівання, перепалу, значного знеуглецювання поверхні та надмірного утворення окалини.

Перед подаванням заготовки у штамп бажано передбачити очищення її поверхні від окалини або технологічні заходи для її видалення безпосередньо перед штампуванням. Наявність значної кількості окалини у рівчаках погіршує

якість поверхні поковок, прискорює зношування штампового інструменту та може спричиняти місцеві вм'ятини або дефекти поверхні. Для масового виробництва доцільно застосовувати організоване подавання заготовок до преса, що забезпечує стабільний темп роботи та зменшує втрати температури перед деформуванням.

Технологічний процес рекомендується виконувати за трьома основними переходами: пережим, чорнове штампування та чистове штампування. Пережимний перехід повинен забезпечити попередній перерозподіл металу в межах однієї заготовки та створити форму, придатну для подальшого заповнення чорнового рівчак. Саме пережим у цьому процесі виконує функцію, яку в базових технологіях часто забезпечує вальцювання. Тому окрему підготовчу операцію вальцювання рекомендується вилучити з маршруту, замінивши її формоутворенням у пережимному рівчаку штампа КГШП.

Чорновий рівчак необхідно проєктувати з урахуванням плавного переходу металу до форми спареної поковки. У чорновому рівчаку слід уникати різких змін перерізу, малих радіусів і місцевих зон, які можуть ускладнювати течіння металу. Його форма повинна забезпечувати заповнення основних об'ємів майбутньої поковки, зменшувати навантаження на чистовий рівчак і підвищувати стабільність остаточного формоутворення. Особливу увагу потрібно приділити зонам більшої і меншої головок важеля, оскільки саме там зосереджені основні відмінності в об'ємах металу.

Чистовий рівчак має формувати остаточну геометрію двох поковок з урахуванням припусків на механічну обробку, штампувальних нахилів, радіусів заокруглень, температурної усадки та облойної канавки. Спарене зустрічно-паралельне розташування поковок у кінцевому рівчаку рекомендується зберегти як основну конструктивно-технологічну ознаку процесу. Завдяки такому розташуванню більша головка однієї поковки компенсується меншою частиною другої, що сприяє більш урівноваженому перерозподілу металу під час штампування.

Під час проєктування штампа необхідно забезпечити надійне базування заготовки у пережимному та наступних рівчаках. Заготовка повинна займати стабільне положення відносно осі спареної поковки, оскільки її зміщення може призвести до нерівномірного заповнення рівчаків, збільшення облою з одного боку, недоштампування окремих ділянок або появи браку. Для цього доцільно передбачити напрямні елементи, упори або форму рівчака, яка забезпечує самоустановлення заготовки під час першого переходу.

Для підвищення стійкості штампового інструменту рекомендується забезпечити достатні радіуси заокруглень у місцях переходу від головок до стрижневої частини важеля. Малі радіуси можуть спричинити концентрацію напружень у штампі, погіршувати течіння металу та підвищувати ймовірність утворення складок або незаповнення. Конструкцію облойної канавки слід приймати такою, щоб вона забезпечувала повне заповнення чистового рівчака, але не призводила до надмірних втрат металу на облой.

Обрізання облою рекомендується виконувати у холодному стані на окремій ділянці після охолодження поковок. Таке рішення дозволяє розвантажити гарячу дільницю, організувати обрізання партіями та спростити обслуговування основного штампувального обладнання. При цьому необхідно передбачити обрізний штамп, який забезпечує відокремлення облою без деформації контуру поковок. Якщо після штампування дві поковки залишаються з'єднаними між собою технологічною перемичкою або облоєм, конструкція обрізного штампа повинна забезпечувати одночасне або послідовне обрізання облою і розділення спареної поковки на дві окремі заготовки.

У виробництві необхідно передбачити контроль температури заготовки перед штампуванням і температури поковки після останнього переходу. Недостатня температура металу може призвести до зростання сили деформування, неповного заповнення рівчаків, появи тріщин або прискореного зношування штампа. Надмірна температура, навпаки, може спричинити перегрівання металу, збільшення окалиноутворення, погіршення якості поверхні

та зниження точності поковки. Тому температурний режим слід контролювати як один з основних параметрів стабільності процесу.

Після штампування, охолодження та обрізання облою рекомендується виконувати очищення поковок від окалини, візуальний контроль поверхні, контроль основних габаритних розмірів і перевірку відсутності типових дефектів: недоштампування, складок, затисків, тріщин, надмірного зміщення половин штампа, деформації після обрізання облою. Особливу увагу слід приділяти зонам переходу головок у стрижневу частину, оскільки саме ці ділянки є найбільш відповідальними з точки зору течіння металу і подальшої роботи деталі.

Для забезпечення стабільної якості в умовах масового виробництва рекомендується впровадити операційний контроль перших поковок після налаштування штампа, а також періодичний контроль протягом зміни.

Впровадження спареного штампування доцільно виконувати поетапно. На першому етапі необхідно розробити креслення поковки і спареної поковки, визначити об'єм металу, розміри заготовки та параметри облою. На другому етапі слід розрахувати сили деформування за переходами і перевірити відповідність процесу можливостям вибраного КГШП. На третьому етапі необхідно спроектувати штамп, передбачивши пережимний, чорновий і чистовий рівчаки. На четвертому етапі доцільно виконати пробне штампування, уточнити заповнення рівчаків, величину облою, положення заготовки та якість поверхні поковок. Після цього можна остаточно коригувати технологічні параметри і передавати процес у серійне або масове виробництво.

Очікуваний виробничий ефект від впровадження запропонованого процесу полягає у підвищенні продуктивності виготовлення деталі «Важіль», зменшенні питомих витрат машинного часу, вилученні операції вальцювання, скороченні кількості обладнання в технологічному маршруті та раціональнішому використанні металу. Крім того, спарене розташування поковок покращує умови перерозподілу металу в заготовці, що створює передумови для стабільного заповнення рівчаків і отримання якісних поковок у масовому виробництві.