

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
« » червня 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти на тему:
Технологія і оснащення для виготовлення деталі «Шестерня»

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

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

Рецензент:
канд. техн. наук, доцент
_____ Любов ОЛІЙНІЧЕНКО

Кропивницький 2026

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
01 квітня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
Кеїлю Володимиру Олександровичу

Тема роботи:

Технологія і оснащення для виготовлення деталі «Шестерня».

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент Володимир СВЯЦЬКИЙ

Затверджено наказом ЦНТУ від 01 квітня 2026 року № 199-02.

Строк подання роботи до захисту:

26 червня 2026 р.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Мета роботи: розробка ефективного та економічно обґрунтованого процесу горячого штампування деталі «Шестерня» з урахуванням вимог до точності, жорсткості оснащення і продуктивності.

Завдання роботи: обрати метод штампування; визначити метод нагрівання заготовок; розрахувати об'єм і вагу деталі «Шестерня»; визначити: групу металу, групу складності, групу точності, вихідний індекс; призначити: припуски на механічну обробку, допуски на штампування, на зсув, ковальські напуски, штампувальні ухили, радіуси заокруглень і допуски на радіуси; розробити конструкцію штампа для основних робочих деталей штампа на всіх операціях на основі геометричної моделі у середовищі CAD.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури по тематиці роботи	21.04.2026 р.	
2	Виконання загальної частини	02.05.2026 р.	
3	Виконання технологічної частини	09.05.2026 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	22.06.2026 р.	
8	Рецензування роботи	24.06.2026 р.	
9	Захист кваліфікаційної роботи	26.06.2026 р.	

Дата видачі завдання 02 квітня 2026 р.

Здобувач вищої освіти _____ Володимир Кеіль

Керівник роботи _____ Володимир СВЯЦЬКИЙ

АНОТАЦІЯ

Кеїль В. О. Технологія і оснащення для виготовлення деталі «Шестерня»: кваліфікаційна бакалаврська робота: спец. 131 Прикладна механіка / наук. кер. В. В. Свяцький; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2026. 37 с.

Креслеників – разом 3 аркуші формату А1.

Актуальність роботи полягає в необхідності розробки ефективного та економічно обґрунтованого процесу горячого штампування деталі «Шестерня» з урахуванням вимог до точності, жорсткості оснащення і продуктивності.

Практична цінність роботи: обрано метод штампування; визначено метод нагрівання заготовок; розраховано об'єм і вага деталі «Шестерня»; визначено: групу металу, групу складності, групу точності, вихідний індекс; призначено: припуски на механічну обробку, допуски на штампування, на зсув, ковальські напуски, штампувальні ухили, радіуси заокруглень і допуски на радіуси; розроблена конструкція штампа для основних робочих деталей штампа на всіх операціях на основі геометричної моделі у середовищі CAD.

Ключові слова: **технологічний процес, гаряче штампування, штампове оснащення, силовий режим, нагрівання заготовки, поковка**

ANNOTATION

Volodymyr KEIL. Technology and equipment for manufacturing the "Gear" part. : qualification work for the educational level "Bachelor", specialty 131 Applied mechanics / Scientific supervisor Volodymyr SVIATSKYI : Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2026. 37 p.

Drawings – summary 3 sheets A1 format.

The relevance of the work lies in the need to develop an effective and economically justified process for hot stamping of the “Gear” part, taking into account the requirements for accuracy, rigidity of the tooling and productivity.

Practical value of the work: the stamping method was selected; the method of heating the workpieces was determined; the volume and weight of the “Gear” part were calculated; the following were determined: metal group, complexity group, accuracy group, initial index; the following were assigned: machining allowances, stamping allowances, shear allowances, forging allowances, stamping slopes, rounding radii and radius allowances; the design of the die was developed for the main working parts of the die in all operations based on the geometric model in the CAD environment.

Keywords: **technological process, hot stamping, die tooling, power mode, workpiece heating, forging**

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи на тему:

Проект кривошипного кузально-штампувального пресу

КРБ.ПМ.25.26.12.00.00

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

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

Кропивницький 2026

Зміст

Вступ	6
1. Вихідні дані	9
2. Розробка креслення поковки	10
3. Розрахунки переходів штампування і вибір вихідної заготовки . .	12
4. Розкрій металу і розрахунки відходів	14
5. Витрати прокату і визначення розкрійного коефіцієнта використання металу	15
6. Вибір і обґрунтування температурного режиму штампування металу	16
7. Зусилля штампування	20
8. Попереднє нагрівання штампа перед штампуванням	21
9. Правила безмеки при роботі на штампувальних молотах	22
10. Обрізка облою	23
11. Очищення поковки від окалини	24
12. Термічна обробка поковки	25
13. Контроль якості поковки	26
14. Технологічна карта	27
15. Конструювання штампа	27
16. Змащення штампа	29
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	32
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	34
ДОДАТКИ	36

ВСТУП

Гаряче штампування є одним із найефективніших способів обробки металів тиском і широко застосовується у машинобудуванні для виготовлення відповідальних деталей складної форми. Цей метод має низку технологічних, економічних та експлуатаційних переваг.

Основними перевагами гарячого штампування є:

- Висока продуктивність процесу. Гаряче штампування дозволяє отримувати поковки за один або декілька робочих ходів обладнання, що забезпечує високу продуктивність і є особливо ефективним у серійному та масовому виробництві.
- Можливість виготовлення деталей складної конфігурації. Завдяки високій пластичності нагрітого металу можна отримувати поковки зі складною просторовою формою, ребрами жорсткості, виступами та іншими конструктивними елементами.
- Поліпшення механічних властивостей виробу. Під час гарячого штампування формується сприятлива волокниста структура металу, яка повторює контур деталі. Це підвищує міцність, ударну в'язкість, пластичність і довговічність виробів порівняно з литими або механічно обробленими деталями.
- Раціональне використання металу. Поковки мають форму, наближену до готової деталі, що дозволяє зменшити припуски на механічну обробку, скоротити витрати металу та знизити собівартість продукції.
- Висока точність поковок. Штампування в закритих штампах забезпечує стабільність геометричних розмірів, що зменшує обсяг подальшої механічної обробки.
- Зменшення трудомісткості виготовлення. Скорочення кількості технологічних операцій та обсягів механічної обробки сприяє підвищенню ефективності виробництва і зниженню виробничих витрат.

- Підвищення коефіцієнта використання матеріалу. Раціональна форма поковки та правильний вибір технологічного процесу забезпечують мінімальні втрати металу у вигляді стружки та відходів.

- Можливість механізації та автоматизації виробництва. Сучасні лінії гарячого штампування легко інтегруються з автоматизованими системами подавання заготовок, індукційного нагрівання, транспортування поковок та контролю якості, що підвищує продуктивність і безпеку праці.

- Висока повторюваність якості виробів. Використання штампового оснащення забезпечує стабільність розмірів, форми та механічних властивостей поковок у межах усієї виробничої партії.

- Економічна доцільність у серійному та масовому виробництві. Незважаючи на значні витрати на виготовлення штампового оснащення, вони швидко окуповуються за рахунок високої продуктивності, зменшення витрат матеріалу та скорочення часу виготовлення деталей.

Таким чином, гаряче штампування забезпечує поєднання високої продуктивності, раціонального використання матеріалу, поліпшених механічних властивостей виробів і можливості автоматизації виробництва, що робить цей метод одним із найбільш ефективних способів виготовлення відповідальних деталей машинобудування.

У даному проєкті розроблено технологічний процес виготовлення деталі «Шестірня» методом гарячого об'ємного штампування. Під час виконання роботи вирішено комплекс конструкторсько-технологічних завдань, спрямованих на вибір раціонального способу одержання поковки, визначення оптимальних параметрів технологічного процесу та розроблення штампового оснащення.

Проєкт складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Пояснювальна записка містить обґрунтування прийнятих технічних рішень, необхідні технологічні та конструкторські розрахунки, а також опис розробленого технологічного процесу. Графічна частина включає креслення

поковки, штампового оснащення, окремих деталей штампа та інші матеріали, необхідні для реалізації запропонованого технологічного рішення.

У пояснювальній записці виконано аналіз конструкції та технологічності деталі, обґрунтовано вибір методу гарячого штампування, а також спосіб нагрівання заготовок перед деформуванням. Розраховано геометричні параметри поковки, визначено її об'єм, масу та розміри вихідної заготовки.

Відповідно до вимог ГОСТ 7505–89 визначено основні технологічні характеристики поковки, зокрема групу сталі, групу складності, клас точності виготовлення та вихідний індекс. На підставі цих даних призначено припуски на механічну обробку, допуски на розміри поковки, допуски на зсув частин штампа, ковальські напуски, штампувальні ухили, радіуси заокруглень та допуски на їх виконання.

У проєкті також розроблено конструкцію штампа для гарячого об'ємного штампування. Для основних робочих деталей штампового оснащення створено тривимірні геометричні моделі із застосуванням сучасних систем автоматизованого проєктування (CAD). Використання CAD-технологій дозволяє підвищити точність проєктування, скоротити терміни розроблення конструкторської документації, виконати перевірку взаємного розташування елементів штампа та підготувати цифрову модель для подальшого виготовлення.

Деталь «Шестірня» є відповідальним елементом механізму газорозподілу двигуна внутрішнього згоряння. У процесі експлуатації вона працює в умовах постійного зубчастого зачеплення, передає крутний момент і сприймає значні циклічні змінні навантаження, що супроводжуються контактними напруженнями та ударними впливами. Тому до матеріалу та якості виготовлення шестірні висуваються підвищені вимоги щодо міцності, зносостійкості, контактної витривалості та ударної в'язкості. Застосування гарячого об'ємного штампування забезпечує формування сприятливої волокнистої структури металу, підвищує механічні властивості виробу,

зменшує витрати матеріалу та забезпечує отримання поковки, максимально наближеної за формою до готової деталі.

Матеріал для виготовлення деталі «Шестірня розподільного вала» Сталь 12ХН3А з наступними характеристиками (у холодному стані):

- межа міцності, $\sigma_b = 600$ МПа;
- опір зрізу, $\sigma_{зр} = 500$ МПа;

1. ВИХІДНІ ДАНІ

Вихідними даними для технологічної частини проекту є креслення деталі (основні розміри із заданими допусками для його виготовлення, шорсткість поверхонь і відхилення поверхонь від форми) і їх технічні вимоги на нього із вказівкою матеріалу. Згідно із завданням вихідними даними задані розміри на деталь «Шестірня».

На основі цього визначають розміри креслення поковки із урахуванням припусків на механічну обробку. Далі за ГОСТ 7505-89 призначаємо припуски і допуски в залежності вихідного індексу. Основним етапом розробки технологічного процесу гарячого штампування є:

- складання креслення поковки із призначенням припусків, допусків і напусків і визначення маси поковки за ГОСТ 7505-89;
- визначення маси і розмірів заготовки, і вибір прокату для заготовки;
- вибір основних, допоміжних і оздоблювальних ковальських операцій і їх послідовності, а також основного і допоміжного інструмента і пристосувань;
- вибір ковальсько-штампувального устаткування необхідної потужності і габаритних розмірів;
- встановлення режимів нагрівання і охолодження поковки, типів і розмірів нагрівального пристроїв;
- розробка заходів щодо контролю якості поковки.

2. РОЗРОБКА КРЕСЛЕННЯ ПОКОВКИ

Призначення припусків на механічну обробку, допусків на штампування і радіусів закруглень.

Припуски, допуски і радіуси закруглення призначаються відповідно до ГОСТ 7505-89. Для призначення попередньо необхідно визначити наступні характеристики: клас точності, група сталі, ступінь складності і вихідний індекс.

Клас точності Т4.

Група сталі залежить від кількості вуглецю і легуючих елементів, що втримуються в сталі (12ХН3А):

C 0,09 - 0,16%

Si 0,17 - 0,37%

Mn 0,30 – 0,60%

Cr 0,60 – 0,90%

Ni 2,75 – 3,15

Разом, зміст вуглецю 0,12%. Це відповідає групі сталі М1.

Ступінь складності визначають шляхом обчислення відношення маси деталі до маси геометричної фігури, у яку вписується форма поковки.

Маса деталі: 1,265 кг.

Маса фігури: 3,56 кг.

Вихідний індекс 11.

Таблиця 1. Припуски

Розмір деталі, мм	Шорсткість R_a , мкм	Припуск (на сторону), мм
Ø 141	6,3	1,7
Ø 35	6,3	1,5
28,5	1,6	1,6
20	3,2	1,5

Зсув по поверхні рознімання штампа 0,3 мм.

Таблиця 2. Допуски на розміри поковки

Розміри поковки із припуском, мм	Допуск, мм
Ø145	+1,4 -0,8
Ø 31,5	+1,1 -0,5
32,5	+1,1 -0,5
20	+1,1 -0,5

Припустима величина залишкового облоя 0,9 мм.

Припустима величина висоти заусенця

по контуру обрізки - 3 мм

по контуру отвору, що пробивається, - 4 мм.

Розрахунки перемички [2, по табл.2 стор.44].

$$h=32,5\text{мм}$$

$$ds=0,5 \times (d_1+d_2)=0,5 \times (55+145)=100 \text{ мм}$$

$$h/ds=32,5/100=0,325$$

Товщина перемички: $S=6 \text{ мм}$.

Додаткові припуски враховуючі:

Зсув по поверхні рознімання штампа – 0,4 мм;

Відхилення від площинності – 0,4мм.

Штампувальні ухили:

зовнішніх поверхонь 7°

внутрішніх поверхонь 10° .



Рис.1. Поковка шестірні

3. РОЗРАХУНКИ ПЕРЕХОДІВ ШТАМПУВАННЯ І ВИБІР ВИХІДНОЇ ЗАГОТОВКИ

Класифікація поковки.

Поковки ставиться до 2 групи 1 підгрупі. Це поковки з наскрізною порожниною і виступами. Дане поковки штампується за 2 переходу.

Розрахунки і вибір переходів штампування на молотах і визначення розмірів заготовки:

Вибираємо облойну канавку I типу

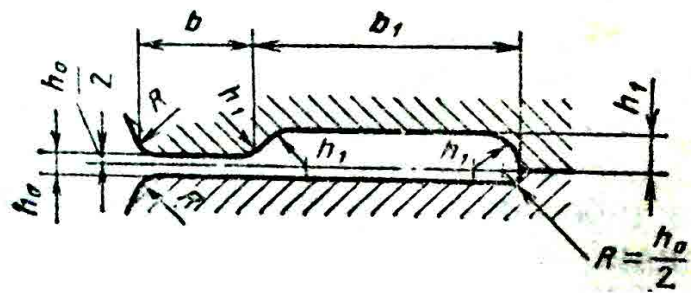


Рис. 2. Облойна канавка I типу

По таблиці 2 [2, стор. 184] визначаємо розміри облойної канавки.
Вибираємо облойну канавку з розмірами:

$$h_0 = 2 \text{ мм};$$

$$b = 9 \text{ мм};$$

$$b_1 = 25 \text{ мм};$$

$$h_1 = 4 \text{ мм};$$

$$R = 1,5 \text{ мм};$$

$$P_{\Pi} = 387 \text{ мм};$$

$$S_{\text{об. до}} = 1,36 \text{ см}^3$$

Об'єм облою визначаємо по формулі [2, стор.183]:

$$V_0 = S_0 P_{\Pi}$$

$$S_0 = \xi \cdot S_{\text{об. до}} \text{ де } \xi = 0,5 \text{ } S_{\text{об. до}} = 136 \text{ мм}^2$$

$$S_0 = 680 \text{ мм}^2$$

$$V_0 = 680 \cdot 387 = 26316 \text{ мм}^3.$$

Визначення діаметра вихідної заготовки.

Розрахуємо об'єм заготовки по формулі:

$$V_{\text{заг}} = V_{\Pi} + V_0 + V_{\text{вигар}}, \text{ де}$$

$$V_{\text{заг}} - \text{об'єм заготовки, мм}^3;$$

$$V_{\Pi} - \text{об'єм поковки з урахуванням перемички під прошивання, мм}^3;$$

$$V_0 - \text{об'єм облою, мм}^3;$$

$$V_{\text{вигар}} - \text{втрати на вигар, мм}^3.$$

Об'єм поковки визначений у середовищі CAD шляхом побудови геометричної моделі, $V_{\Pi} = 299424,40 \text{ мм}^3$.

Так як для нагрівання заготовки використовуємо індукційний нагрівач, то втрати на вигар невеликі, і становлять 0,8% від об'єму поковки, $V_{\text{вигар}} = 0,008 \cdot V_{\Pi} = 2395 \text{ мм}^3$.

Таким чином, об'єм заготовки рівний

$$V_{\text{заг}} = 299424,40 + 26316,46 + 2395,52 = 328135 \text{ мм}^3.$$

Щоб не відбулася втрата стійкості при осадці, необхідно щоб при осадці відношення довжини заготовки до її діаметра було менше 2,5, тобто

$$m = L_{\text{заг}} / D_{\text{заг}} \leq 2,5.$$

приймемо $m = 2,5$, тоді попередньо діаметр заготовки можна визначити по формулі:

$$D_{\text{заг}} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_{\text{заг}}}{m}} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{328135}{2,5}} = 54,8 \text{ мм}.$$

Вибираємо стандартний пруток із сортаменту за ГОСТ 2590-71 діаметром 55 мм. Тоді довжина заготовки визначається як

$$L_{\text{заг}} = \frac{V_{\text{заг}} \cdot 4}{\pi \cdot D_{\text{заг}}^2} = \frac{328134 \cdot 4}{3,14 \cdot 55^2} = 138 \text{ мм}.$$

Вибираємо заготовку у вигляді прутка за ГОСТ 2590-88, виходячи з оптимального відношення висоти заготовки до її діаметра в межах 1,5 – 1,8 і вибираючи діаметр прутка зі стандартного ряду: діаметр $d = 55 \text{ мм}$ і довжиною $l = 138 \text{ мм}$.

$$l / d = 2,1.$$

4. РОЗКРІЙ МЕТАЛУ І РОЗРАХУНКИ ВІДХОДІВ

1. Маса чистової деталі – $G_d = 1,265 \text{ кг}$.
2. Об'єм поковки – $V_{\Pi} = 299424 \text{ мм}^3$.
3. Маса поковки:

$$G_n = \rho \times V_n,$$

де $\rho = 7859 \text{ кг/м}^3$ – щільність матеріалу;

$$G_n = 7859 \times 0,299424 \times 10^{-3} = 2,347 \text{ кг}$$

4. Об'єм заготовки з урахуванням відходів на облой і вигар:

$$V_{\text{зг}} = 328135 \text{ мм}^3.$$

5. Маса заготовки $G_{\text{зг}} = 2,57 \text{ кг}$.

5. ВИТРАТА ПРОКАТУ І ВИЗНАЧЕННЯ РОЗКРІЙНОГО КОЕФІЦІЄНТА ВИКОРИСТАННЯ МЕТАЛУ

Поковки виготовляємо з конструкційної легованої сталі марки 12ХН3А діаметром $d = 55 \text{ мм}$.

Довжина прутка $L_{\text{п.у.}} = 3000 \text{ мм}$.

Довжина торцевого обріза:

$$L_{\text{обр}} = (0,3-0,5) \times d,$$

$$L_{\text{обр}} = 0,4 \times 55 \text{ мм} = 22 \text{ мм}.$$

Некратність:

$$l_p = l/2,$$

де l – довжина заготовки, мм. $l_p = 138/2 = 69 \text{ мм}$.

Корисна довжина прутка :

$$L_{\text{п}} = L_{\text{п.у.}} - \sum n.n.,$$

де $\sum n.n.$ – сума абсолютних лінійних втрат металу при різанні, мм.

$$L_{\text{п}} = 3000 - (16,8 + 69) = 2914,2 \text{ мм}.$$

Допуск на довжину заготовки при різанні на ножицях при діаметрі $d = 55 \text{ мм}$ і довжині $l = 138 \text{ мм}$ становить $\pm 1,3 \text{ мм}$ [1, табл.41, стор.213].

Заготівельний коефіцієнт використання металу по формулі:

$$\eta_z = \frac{L_{\text{п}}}{L_{\text{п.у.}}} = \frac{2914,2}{3000} = 0,97.$$

Для визначення норми витрати металу зробимо попередні розрахунки.

Теоретична вага 1 м прутка для заготовки діаметром $d = 55$ мм, $M = 18,6$ кг.

Вага заготовки на поковки:

$$Q_3 = M \times l / 1000 = 18,6 \times 138 / 1000 = 2,56 \text{ кг.}$$

Вага прутка розрахункова по :

$$Q_{\text{пр}} = M \times L_{\text{р.в}} / 1000 = 18,6 \cdot 3000 / 1000 = 55,8 \text{ кг.}$$

Кількість заготовок із прутка по:

$$n = L_{\text{п}} / l = 2914 / 138 \approx 21 \text{ шт.}$$

Видатковий коефіцієнт по:

$$K_p = L_{\text{р.в}} / L_{\text{п}} = 3000 / 2914 = 1,029.$$

Сумарні відходи на кожний пруток по:

$$\sum Q = M \times \sum \text{п.п.} / 1000 = 18,6 \cdot 85,8 / 1000 = 1,59 \text{ кг.}$$

Норма витрати металу на заготовку:

$$N = \frac{Q_3}{\eta_3} = 2,56 / 0,971 = 2,63 \text{ кг.}$$

Норма витрати металу на поковки :

$$N = Q_{\text{пр}} / n = 55,8 / 21 = 2,65 \text{ кг.}$$

Розраховали корисну довжину прутка і суму абсолютних лінійних втрат металу при різанні, а також коефіцієнти видаткового і заготівельного використання металу. На основі цих даних внослюємо норми витрати металу на заготовку і поковки.

6. ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ШТАМПУВАННЯ

Припустимий температурний інтервал штампування. Метали і сплави перед обробкою тиском нагрівають до певної температури для підвищення їх пластичності і зменшення опору деформації. Цю температуру називають температурою початку гарячої обробки тиском. Однак у процесі обробки температура металу знижується. Мінімальна температура, при якій можна

робити обробку, називається температурою закінчення обробки тиском. Область температур між початком і закінченням обробки, у якій метал або сплав має найкращу пластичність, найменшу схильність до росту зерна і мінімальним опором деформації, називають температурним інтервалом гарячої обробки тиском.

Температурний інтервал обробки тиском вибирають із урахуванням діаграми стану сплаву. Бажано, щоб у цьому температурному інтервалі метал перебував в однофазному стані. У дво- або багатофазному стані при низькій пластичності однієї з фаз можливе руйнування металу. Виключення представляють доєвтектоїдні сталі, які при температурах двофазного стану мають достатню пластичність. Достатню пластичність мають і заєвтектоїдні сталі вище 750 °С, у яких фіксується двофазна структура з аустеніту із вторинним цементитом. Цементит розташовується у вигляді сітки по границях зерен, що знижує пластичність сталі. Однак після руйнування цієї сітки методом обробки тиском сталь відновлює свої пластичні властивості.

Температурний інтервал обробки сплавів залежить від їхнього хімічного складу. Так зі збільшенням кількості вуглецю в сталі температурний інтервал обробки звужується. Особливо різко при цьому знижується температура початку обробки.

При нагріванні металів і сплавів вище температури початку гарячої обробки починається інтенсивне зростання аустенітного зерна. Завдяки цьому структура стає грубозернистою і відбувається зниження її пластичних властивостей. Сталь із грубозернистою структурою отримують при перегріві. Перегрів є дефектом і його можна усунути відпалом або нормалізацією.

При подальшому підвищенні температури нагрівання відбувається розплавлення легкоплавких складових, розташованих по границях зерен. Окиснення цих границь киснем, що знаходиться в робочому просторі печі, викликає явище назване перевитратою. Перевитрата металу – непоправний брак, що призводить до повної втрати пластичності металу.

Таким чином, для сталі 12ХН3А припустимий температурний інтервал штампування становить:

- максимальна температура нагрівання перед штампуванням $T_{\max}$ 1200 °С;
- температура закінчення штампування $T_{\min}$ 800 °С.

Вибір нагрівального пристрою і режиму нагрівання.

Вибираємо тип нагрівання – індукційне нагрівання. Індукційне нагрівання по витраті енергії на тонну заготовок є менш економічним способом, а ніж нагрівання в полум'яних печах. Однак його широко застосовують, тому що він підвищує продуктивність праці, дозволяє провести повну автоматизацію і забезпечити високу стабільність процесу, поліпшити умови праці і зменшити втрати металу на окалину.

Частота індуктора – 2500 Гц [1, с. 258].

Час нагрівання заготовки (звичайне нагрівання) – 120 сек [1, рис. 5, с. 260].

Потужність, яка необхідна для нагрівання заготовки, визначається по формулі:

$$P_z = c \cdot t \cdot \sigma / 3,6 \cdot 10^5,$$

де c – питома теплоємність металу, 0,118 Дж/кг°С.

t – температура нагрівання, 1200°С

σ – необхідна продуктивність, 150 кг/год.

$$P_z = 0,118 \times 1200 \times 150 / 3,6 \times 10^5 = 0,059 \text{ кВт.}$$

Повна потужність індуктора розраховується по формулі :

$$P_n = \frac{P_z}{\eta},$$

де $\eta = 0,5-0,6$ – коефіцієнт корисної дії.

$$P_n = \frac{0,059}{0,5} = 0,112 \text{ кВт.}$$

Довжина індуктора визначається по формулі :

$$L_i = g \cdot \tau,$$

де g – середня швидкість переміщення заготовки усередині індуктора, визначається по формулі, м/с;

τ – час нагрівання, с.

$$g = \frac{G}{L \cdot 3600},$$

де $L = 18,6 \text{ кг/м}$ – маса одного метра заготовки.

$$g = \frac{150}{18,6 \cdot 3600} = 0,0024 \text{ м/с;}$$

$$L_i = 0,0024 \cdot 100 = 0,24 \text{ м.}$$

Вибираємо індуктор КИН 750/2,4Ш [1, табл. 19, с. 279].

Таблиця 3. Технічна характеристика нагрівача

Потуж- ність, кВт	Частота, кГц	Витрата, м³		Розміри заготовки, мм			Продук- тивність кг/год
		води	повітря	діаметр		довжи -на	
				граничний	рекомен- дований		
750	2,4	12	10	450160	45-60	80-400	1800

Вид охолодження поковки.

Охолодження заготовок починається відразу після видачі їх з індукційного нагрівача і триває як при транспортуванні їх до преса, так і в процесі штампування. Процес охолодження закінчується після обробки тиском, коли температура металу поступово знижується до температури навколишнього простору.

7. ЗУСИЛЛЯ ШТАМПУВАННЯ

Маса падаючих частин штампувального молота [2, стор. 145]:

$$G_o = 5,6 \cdot 10^{-4} \sigma (1 - 0,0005 D_{\pi}) \cdot \{3,75(b + D_{\pi}/4)(75 + 0,001 D_{\pi}^2) + D_{\pi}(b^{2/2} + b D_{\pi}/4 + D_{\pi}^{2/50}) \cdot \ln(1 + 2,5(75 + 0,001 D_{\pi}^2)/D_{\pi} h_o)\}$$

де $\sigma_m = 45$ МПа – границя текучості при температурі штампування;

b, h_o – ширина і товщина містка облою, мм; D_{π} – діаметр поковки, мм;

$$G_o = 5,6 \cdot 10^{-4} \cdot 45 (1 - 0,0005 \cdot 145) \cdot \{3,75(9 + 145/4)(75 + 0,001 \cdot 145^2) + 145(92/2 + 9 \cdot 145/4 + 145^{2/50}) \cdot \ln(1 + 2,5(75 + 0,001 \cdot 145^2)/145 \cdot 2)\} = 1965 \text{ кг.}$$

Маса падаючих частин повинна бути 2000 кг. Вибираємо молот штампувальний пароповітряний подвійної дії двустоечний М2143.

Таблиця 4. Характеристика молота моделі М2143

Найменування параметрів	Од.вим.	Величини
Маса удару (Номінальна вага падаючих частин)	кг	2000
Енергія удару не менш	КДж	50
Число ударів бойка у хвилину	уд/хв	63±10%
Відстань напрямними у світлі	мм	600
Найменша висота штампа без хвостовика	мм	260
Розмір довбні попереду-назад	мм	630
Розмір штамподержателя	мм	900
Відстань від рівня підлоги до площини рознімання штампа при найменшій його висоті	мм	800
Габарити молота:	мм	
– довжина		3600
– ширина		1650
– висота		4960
Маса	кг	58100

8. ПОПЕРЕДНЄ НАГРІВАННЯ ШТАМПА ПЕРЕД ШТАМПУВАННЯМ

Перед роботою і у перервах молотовий штамп слід прогрівати на всю товщину до температури 200-300 °С. Прогрів штампа здійснюється переносним газовим пальником. При цьому необхідно стежити за тим, щоб не перегріти штамп до більш високої температури, тому що він втратить твердість і стійкість.

Розміри пальника: 450х450мм і діаметром труби 40 мм.

У пальник подається газ із повітрям, і передбачається кран для регулювання їх подачі.

Для контролю температури використовується оптичний пірометр.

Маса нагрівача 7 кг.

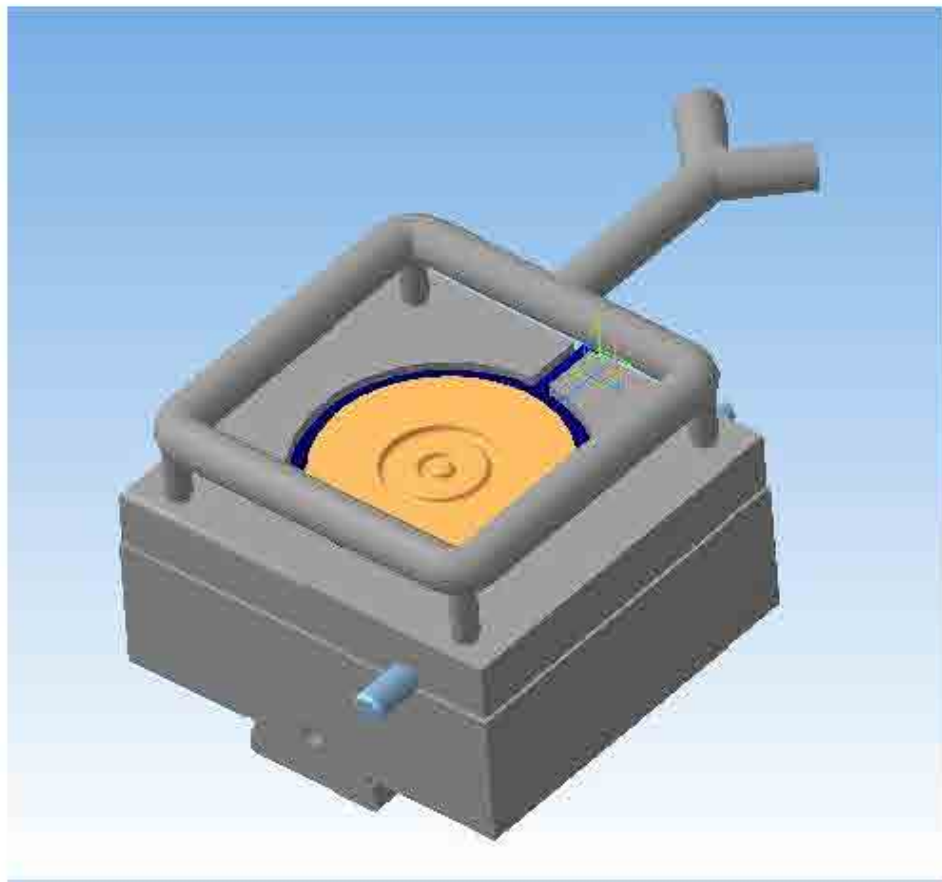


Рис.3. Нагрівання штампа

9. ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ НА ШТАМПУВАЛЬНИХ МОЛОТАХ

Перед роботою необхідно:

- 1) перевірити, чи справно встановлена поковка, чи є змащення; оглянути штамп; очистити його від окалини; підігріти штамп і шток до температури 100-200 °С;
- 2) підібрати інструмент, який буде необхідний під час роботи (кліщі, кувалди тощо);
- 3) перевірити подачу стисненого повітря або пари, а також наявність змащення і її якість;
- 4) ознайомившись із технологічною картою, перевірити наявність заготовок і переконатися в їхній доброякісності;
- 5) перевірити, чи повністю завантажено піч металом, і чи нагріті заготовки до заданої температури;
- 6) надягти спецодяг і захисні пристосування відповідно до існуючих вимог.

Під час роботи потрібно:

1. Перш ніж покласти нагріту заготовку на штамп, звільнити порожнину штампа від окалини (обдування проводиться стисненим повітрям, а при відсутності його окалина змитається мітлою; але не можна змити окалину зі штампа рукавицею).
2. Не допускати сильних холостих ударів верхньої половинки штампа про нижню, а якщо буде потреба в таких ударах, установлювати між штампами дерев'яну прокладку.
3. Не можна штампувати перепалений метал або метал, охолоджений до температури нижче 800-750° С.

4. Не допускати нагрівання штампа до температури вище 400 °С; прохолоджувати штамп стисненим повітрям або змащенням, наприклад, соляним розчином або мазутом. При змащенні мазутом у рівчаках штампа утворюються тріщини, тому цей спосіб змащення не рекомендується.

5. Кліщі під час роботи треба тримати так, щоб рукоятки перебували збоку від тулуба, а не перед тулубом.

6. Використовувати кожний рівчак штампа тільки по його призначенню і стежити за правильним положенням заготовки в рівчаку штампа.

7. Уважно стежити за тим, щоб губки кліщів не могли потрапити під удар штампа.

8. Періодично перевіряти поковки, якщо виявляться дефекти (перекоси, раковини, затискачі тощо), припинити штампування, встановити причини, що викликали той або інший дефект, і ліквідувати їх.

Після роботи необхідно:

1. Упорядкувати робоче місце, а інструмент і пристосування скласти на відведене для них місце.

2. Якщо на штампі не буде тривати робота, то зняти його, очистити від бруду, змазати струмки і забрати штамп на місце, де він повинен зберігатися.

10. ОБРІЗКА ОБЛОЮ

Обрізку облою виконують у гарячому стані.

Зусилля обрізки і вибір обрізного преса.

Необхідне зусилля обрізки облоя і пробивання перемичок:

$$P=(0,7-1)G;$$

$$P=0,8 \cdot 2000=1600 \text{ кН}$$

де G – маса падаючих частин штампувального молота, т.

По таблиці [2, стор. 304] вибираємо обрізний прес.

Таблиця 5. Технічні характеристики преса

Номінальне зусилля, кН	1600
Хід повзуна, мм	250
Число ходів повзуна у хв	40
Найбільша відстань між столом і повзуном його в нижньому положенні, мм	450
Розміри стола, мм	800x800
Потужність привода, кВт	-

11. ОЧИЩЕННЯ ПОКОВКИ ВІД ОКАЛИНИ

Для одержання поковки із високою якістю поверхні, що вимагають мінімальної обробки різанням, необхідно очищати заготовки перед нагріванням і поковки після штампування від поверхневих дефектів (тріщини, раковини), заусенців, окалини, іржі і інших забруднень (мазуту, масла, піску тощо).

При неповному видаленні окалини, що утворюється при нагріванні сталевих заготовок під штампування, частину її може бути вмятою в поверхню поковки під час штампування, і може залишатися на ній у вигляді малопомітних плям. Крім того, поверхня поковки під час остигання після штампування покривається тонким шаром окалини, який значно збільшується при наступній термообробці.

Очищення поковки від окалини виконується в дрібоструйній установці. Поковки, що підлягають обробці, засипаються в бункер-накопичувач, звідки періодично конвеєром вібраційного типу переносяться в ємність вантажопідйомного пристрою. При подачі партії поковки певної маси робота конвеєра припиняється. Пристрій перекидається і перевантажує поковки в приймач підйомника. Поковки піднімаються і вивантажуються в камеру дрібоструйної установки. Відбувається очищення поковки дрібом діаметром

0,8-1,8 мм для поковки кронштейн амортизатора протягом 10-15 хвилин. Оброблені поковки автоматично віддаються на конвеєр.

12. ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ПОКОВКИ

Якість поковки і виготовлених з них виробів у значній мірі залежить від термічної обробки, яка складається із двох стадій – попередньої і остаточної.

Метою попередньої термічної обробки є: поліпшення оброблюваного металу для виготовлення виробів; підготовка структури металу для остаточної термічної обробки, тобто одержання однорідної дрібнозернистої структури; зняття наклепу, зниження рівня внутрішніх напружень; поліпшення комплексу механічних властивостей.

Ціль остаточної термічної обробки – додання металу необхідних механічних властивостей.

На вибір необхідного режиму термічної обробки впливає матеріал сталеві поковки. Поковки зі сталі 35 зазнають нормалізації (відпал нормалізаційний) або поліпшення. Для цих поковки особливо важлива гарна оброблюваність різанням. Температура високого відпалу визначається температурною областю розпаду переохолодженого аустеніту на ферито-карбідну структуру (680-700 °C). Охолодження поковки проводиться на повітрі. Твердість після нормалізації становить 179–229 НВ, а при використанні високого відпалу (поліпшення) 207–241 НВ. Для даної поковки використовується процес нормалізації. Нормалізацію проводять у термоагрегатах, у якому відбувається нагрівання поковки до температури 860 ± 10 °C з наступним охолодженням на спокійному повітрі для одержання дрібного зерна і рівномірного розподілу структурних складових. Тривалість термообробки без обліку часу на завантаження і розвантаження поковки становить 8-13 годин. Агрегат безперервної дії штовхального типу працює в автоматичному режимі.

13. *КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ПОКОВКИ*

Контроль якості поковки здійснюється на всіх стадіях виробництва. У ковальських цехах застосовують три види технологічного контролю: вихідний контроль металу заготовок, межопераційний і остаточний контроль. Перші два види контролю мають особливе значення для своєчасного попередження браку. Завдання остаточного контролю – не допускати виходу із цеху браку.

Для одержання якісних заготовок застосовуються наступні контрольні операції.

1. Вхідний контроль матеріалу на відповідність марки матеріалу нормативно-технічної операції. Для цього з партії відбирається 5% металу для візуального контролю і вимірів розмірів прутків універсальним інструментом. Вибірково береться проба на хімічний склад, мікро- і макроструктуру, прожарюваність і глибину знеуглецьованого шару.

2. Контроль температури нагрівання прутків перед обрізкою на заготовки не менш двох раз у зміну із застосуванням термопар, мілівольтметра і індикаторного олівця.

3. Контроль через щогодини роботи розміру заготовок по довжині і викривлення торців.

14. ТЕХНОЛОГІЧНА КАРТА

Номер операції	Найменування й зміст Найменування операції	Позначення документа	Устаткування (Найменування)	Бойки, штампи, пристосування (Найменування)	Вимірювальний інструмент (Найменування)
005	Тех. контроль: Перевірити штанги по сертифікату	Сертифікат			Лінійка 1000 ГОСТ 427-75
010	Транспортування: Перемістити прутки на розрізання		Кран 30/5т		
015	Розрізання : Розрізати прутки на заготовки; l=138		Ножиці сортові зусиллям 10МН	Ножі діаметром 100 мм	Лінійка 1000 ГОСТ 427-75
020	Транспортування: Перемістити заготовки до нагрівальної установки		Кран 50/12,5т		
025	Нагрівання: Нагріти заготовки		Індуктор КИН 750/2,4Ш		Фотопірометр
030	Об'ємне штампування: Осадка, штампування в остаточному рівняку.		Молот штампувальний М2143	Штамп молотовий	
035	Транспортування: Перемістити кування на обрізку облою		Кран-маніпулятор підвісною вантажопідйомністю 250 кг		
040	Обрізка: Обрізати облою, прошити отвір		Прес обрізний Зусиллям 1600 кН		
045	Тех.контроль: Перевірити маркування й розміри по кресленню кування				Лінійка 1000 ГОСТ 427-75, Штангциркуль ШЦ-II-250-01 ГОСТ 166-80
050	Транспортування: Перемістити кування на термообробку			Кран 16/3,2т	
055	Термічна обробка				
060	Дробоочистка: Очистити кування від окалини		Камера очисна дробометальна		
065	Тех.контроль ВТК(5%-ний) Перевірити маркування, розміри і якість поверхні				Лінійка 1000 ГОСТ 427-75, Штангциркуль ШЦ-II-250-01 ГОСТ 166-80

15. КОНСТРУЮВАННЯ ШТАМПА

Розрахунки розмірів «гарячої» поковки. Розмір «гарячої» поковки з урахуванням усадки визначається по формулі:

$$a = L \times (1 + \alpha_{\text{хт}}), \text{ де } L - \text{розмір холодного штампування,}$$

$\alpha = 14,5 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ – коефіцієнт лінійного розширення металу поковки;

$t = 850 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура кінця штампування.

Таблиця 7. Розміри гарячої поковки

Розміри холодного поковки, мм	Розміри гарячого поковки, мм
діаметри	діаметри
145	147,17
31,5	31,97
55	55,81
115	116,72
112	113,68
50	50,75
товщини пок.	товщини пок.
32,5	32,98
24	24,36

Проектування штампувальних рівчаків.

Остаточний штампувальний рівчак виготовляється по кресленню гарячої поковки. Поковки штампується в два переходи.

Таблиця 8. Розміри попереднього струмка

Переходи	Висота Н, мм	Діаметр D, мм
1	2	3
1	35	135
2	31.5	145

Вибір матеріалу для виготовлення штампа.

Матеріал для штампів повинен мати високі механічні властивості (міцністю, пластичністю, ударною в'язкістю і твердістю) при температурах

300–600 °С, високою термомеханічною утомою, перешкоджати утвору тріщин на гравюрі; високою теплопровідністю; гарною оброблюваністю і незначним жолобленням при термічній і хіміко-термічній обробці.

Блоки призначені для установки на пароповітряних молотах (ГОСТ 7024-75).

Усі блоки (крім блоків за ГОСТ 13983-80) виготовляють зі сталі 45Х (ГОСТ 4543-71). Твердість частин блоків: робочої поверхні – НВ 321-368; опорної поверхні – НВ 285-321. Допускається виготовлення блоків зі сталі 40Х. Для клинів і шпонок використовують сталь 45 (ГОСТ 1050-74), твердість клинів HRC 32-35, твердість шпонок HRC 40-45.

Для збільшення твердості при високих температурах використовують хіміко-термічну обробку: азотування, дифузійне хромування, борировування. На поверхню гравюри штампа з газової фази проводять осадження карбідів титану, що мають особливо високу твердість.

16. ЗМАЩЕННЯ ШТАМПА

Змащення штампів проводять для зменшення тертя і теплопередачі при деформуванні і поліпшення вилучення поковки зі штампа після штампування, що сприяє підвищенню стійкості штампів. Крім того змащення використовують для охолодження штампа.

Рідке мастило перебуває в ємності під тиском 3 атм. і надходить по трубопроводах. Розпорошується автоматично через кожні два ходи повзуна.

У якості змащення застосовуємо «СТАВРОЛ-4 марка1». «Ставрол-4 марка 1» являє собою повністю стабілізовану і гомогенізовану дисперсію графіту у воді.

Технологічні особливості:

- Знижує зношування крайок рівчака штампа за рахунок нанесення пластинчастого графіту на поверхні штампа. Оснащення вже після короткочасного нанесення виявляється оптимально захищеним.

- Перешкоджає плинності поковочної сталі: за рахунок цього виходить більш чіткий відбиток.

- Знижується зусилля пресування при формоутворенні.

- Знижуються напруги усередині штампа, насамперед у штампах із глибокими рівчаками.

- Значно скорочуються випадки поломок штампів.

- За рахунок короткого часу нанесення знижується витрата змащення, не відбувається його нарощування в штампі, тому що застосовуються бензольні сорти графіту, забезпечується відмінне знімання поковки зі рівчака.

- Не забиває трубопроводи і сопла з вузькими прохідними перетинами.

Хімічні і фізичні параметри:

Зовнішній вигляд – рідина чорного кольору.

Запах нейтральний.

Зміст графіту 26-30%.

Щільність при 20 °C приблизно 1,17 г/см³.

Точка запалення – немає.

pH при 20°C приблизно 10.

Стабільність при зберіганні – кілька місяців.

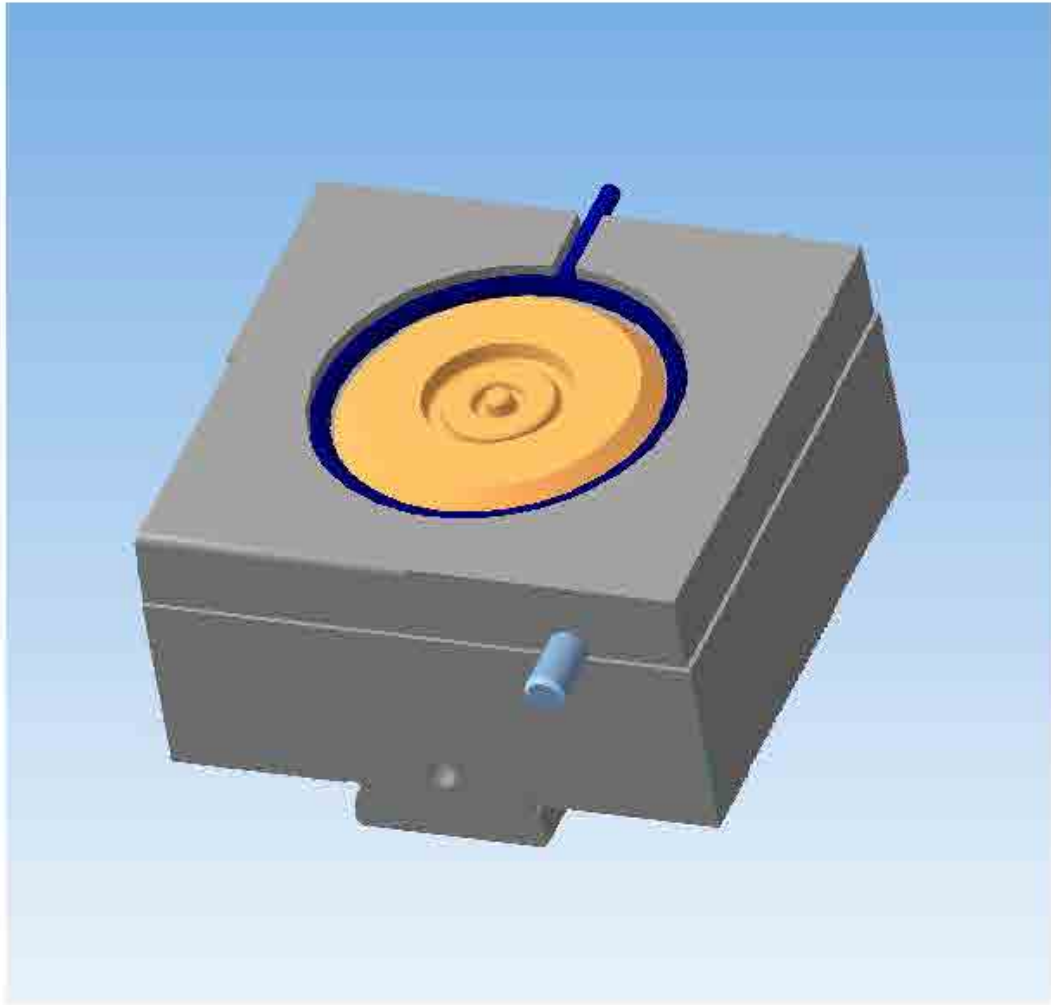


Рис. 4. Система змащення штамп

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даному проєкті розроблено технологічний процес виготовлення деталі «Шестірня» методом гарячого об'ємного штампування. Під час проєктування виконано вибір способу отримання поковки, визначено параметри технологічного процесу, підібрано необхідне технологічне обладнання та оснащення, що забезпечують виготовлення деталі відповідно до вимог щодо точності, якості поверхні та продуктивності виробництва.

Для виготовлення поковки обрано штампувальний молот із масою падаючих частин 2000 кг, енергетичні характеристики якого забезпечують отримання поковки заданої конфігурації та необхідний ступінь деформації металу під час штампування.

Як вихідну заготовку використано сортовий гарячекатаний прокат круглого перерізу діаметром 55 мм, що забезпечує необхідний об'єм металу для формування поковки з мінімальними втратами матеріалу.

Розділення прокату на мірні заготовки довжиною 138 мм здійснюється на сортових ножицях із номінальним зусиллям 6,3 МН. Використання такого обладнання забезпечує високу продуктивність процесу різання, необхідну точність довжини заготовок і мінімальні втрати металу.

Для забезпечення оптимальних умов пластичної деформації встановлено технологічний інтервал температур гарячого штампування: температура початку штампування становить 1200 °С, а температура закінчення процесу – 800 °С. Дотримання зазначеного температурного режиму забезпечує достатню пластичність металу, зменшує опір деформації та сприяє отриманню поковок без дефектів.

Для зменшення сил тертя між поковкою та робочими поверхнями штампа, полегшення вилучення поковки після штампування, а також підвищення стійкості штампового оснащення обрано технологічне мастило «Ставрол-4», марка 1. Використання цього мастильного матеріалу сприяє

зниженню зношування робочих поверхонь штампа та покращує якість поверхні поковки.

Нагрівання заготовок перед штампуванням здійснюється в індукційному нагрівачі КИН6-750/2,4П, який забезпечує швидке, рівномірне та енергоефективне нагрівання металу до заданої температури. Застосування індукційного нагрівання дозволяє скоротити тривалість технологічного циклу, зменшити втрати металу на окалиноутворення та підвищити якість поковок.

Після завершення операцій гарячого штампування поковки піддають очищенню від окалини, задирок і незначних поверхневих дефектів методом дробометної обробки. Цей спосіб очищення забезпечує ефективне видалення продуктів окиснення, покращує стан поверхні поковки, полегшує проведення подальших операцій механічної обробки та сприяє підвищенню експлуатаційних характеристик готової деталі.

Запропонований технологічний процес забезпечує раціональне використання матеріалу, високу продуктивність виробництва, необхідну точність геометричних параметрів поковки та економічну ефективність виготовлення деталі «Шестірня» в умовах серійного виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ковка и штамповка. Справочник в 4 т. / Под ред. Е.И. Семенова. – Т.1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка.– М.: Машиностроение, 1985. – 567 с.
2. Ковка и штамповка: Справочник под ред. Е.И. Семенова. – М: Машиностроение, 1986.–Т.2 Горячая штамповка;
3. Бобенко В.А. и др. Объемная штамповка. Атлас схем и типовых конструкций штампов. – М: Машиностроение, 1982;
4. 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.
5. 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.
6. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. 5-е изд., перераб. – М. : Машиностроение, 1980.-728 с. - Т.1.
7. Боков В.М. Конструювання та виготовлення штамів. Штамп як об'єкт проектування. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий ТОВ “Імекс ЛТД”, 2005. – 236 с.

8. Боков В.М., Мірзак В.Я. Технологія холодного штампування. Курсове проектування. Листове штампування. Навчальний посібник. – Кіровоград. Поліграфічно-видавничий центр ТОВ "Імекс-ЛТД".2010. – 250 с.

9. Справочник по оборудованию для листовой штамповки / Л.И. Рудман, А.И. Зайчук, В.Л. Марченко и др.; Под ред. Л.И. Рудмана. – К.: Техніка, 1989.–231 с.

10. Плєснецов Ю. О. Ковальсько-штампувальне обладнання. Механічні преси: навч. посіб. / Ю.О. Плєснецов, В.О.Маковей – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – 236 с. ISBN 978-617-7188-69-7.

ДОДАТКИ