

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 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти на тему:

**Проектування технологічного процесу виготовлення деталі
«Болт DIN 931» з використанням розрахункових та графічних
модулів САПР**

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

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

Рецензент:
канд. техн. наук, доцент
_____ Віктор ПУКАЛОВ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри машинобудування,
мехатроніки і робототехніки
канд. техн. наук, доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
31 січня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
Грічковському Олександрю Олександровичу**

Тема роботи:

Проектування технологічного процесу виготовлення деталі «Болт DIN 931» з використанням розрахункових та графічних модулів САПР.

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент Володимир СВЯЦЬКИЙ
Затверджено наказом ЦНТУ від 31 січня 2025 року № 130-02.

Строк подання роботи до захисту:

27 червня 2025 р.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Мета: розробка раціонального технологічного процесу, прогресивного оснащення виготовлення деталі «Болт DIN 931».

Завдання: проаналізувати варіанти процесу штампування типових деталей; виконати конструктивно-технологічний аналіз деталі та розрахувати розміри вихідної заготовки; розрахувати силовий режим за операціями штампування та вибрати обладнання, спроектувати оснащення для об'ємного штампування деталі «Болт DIN 931». Тип виробництва – серійний.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури по тематиці роботи	21.04.2025 р.	
2	Виконання загальної частини	02.05.2025 р.	
3	Виконання технологічної частини	09.05.2025 р.	
4	Виконання конструкторської частини	16.05.2025 р.	
5	Розробка креслеників	30.05.2025 р.	
6	Усунення недоліків після перевірки керівником роботи	10.06.2025 р.	
7	Перевірка роботи на академічний плагіат	24.06.2025 р.	
8	Рецензування роботи	25.06.2025 р.	
9	Захист кваліфікаційної роботи	27.06.2025 р.	

Дата видачі завдання 03 лютого 2025 р.

Здобувач вищої освіти _____ Олександр ГРІЧКОВСЬКИЙ

Керівник роботи _____ Володимир СВЯЦЬКИЙ

АНОТАЦІЯ

Грічковський О. О. Проектування технологічного процесу виготовлення деталі «Болт DIN 931» з використанням розрахункових та графічних модулів САПР : кваліфікаційна бакалаврська робота: спец. 131 Прикладна механіка / наук. кер. В. В. Свяцький; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2025. 34 с.

Креслеників – разом 3 аркуші формату А1.

Метою роботи є розробка раціонального технологічного процесу, прогресивного оснащення виготовлення деталі «Болт DIN 931».

Актуальність роботи – розробка технологічного процесу виготовлення деталі «Болт DIN 931» способом гарячого штампування відповідно до впливу температури нагрівання заготовок на технологічні фактори штампування поковок фланця, аналізу напружено-деформованого стану поковки та оцінки структури металу.

Практична цінність роботи: проведено комплексний конструкторсько-технологічний аналіз деталі; розроблено технологічний процес штампування болта DIN 931, виконано розрахунок зусилля преса, проведено комп'ютерне моделювання процесу гарячого об'ємного штампування болта DIN 931 з заданою в технологічному процесі температурою, проведено аналіз температур, ефективних деформацій та зусиль преса, необхідних для здійснення технологічних переходів.

Ключові слова: **технологічний процес, об'ємне штампування, штампове оснащення, силовий режим, комп'ютерне моделювання**

ANNOTATION

Oleksandr Hrichkovskiy. Design of the technological process for manufacturing the part "Bolt DIN 931" using computational and graphical CAD modules : qualifying bachelor's thesis: speciality 131 Applied mechanics / Scientific supervisor Volodymyr SVIATSKYI : Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025. 34 p.

Drawings – summary 3 sheets A1 format.

The purpose of the work is to develop a rational technological process, progressive equipment for the manufacture of the part "Bolt DIN 931".

The relevance of the work is the development of a technological process for the manufacture of the part "Bolt DIN 931" by hot stamping in accordance with the influence of the temperature of heating the workpieces on the technological factors of stamping flange forgings, analysis of the stress-strain state of the forging and assessment of the metal structure.

Practical value of the work: a comprehensive design and technological analysis of the part was carried out; the technological process of stamping a bolt DIN 931 was developed, the calculation of the press force was performed, computer modeling of the process of hot volumetric stamping of a bolt DIN 931 with a temperature specified in the technological process was performed, an analysis of temperatures, effective deformations and press forces necessary for technological transitions was performed.

Keywords: **technological process, volumetric stamping, stamping equipment, power mode, computer modeling**

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи на тему:

**Проектування технологічного процесу виготовлення деталі
«Болт DIN 931» з використанням розрахункових та графічних
модулів САПР**

КРБ.ПМ.25.03.12.00.00

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

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

Кропивницький 2025

Зміст

Вступ	6
1 Характеристика деталі і вибір способу штампування	6
1.1 Опис деталі	7
1.2 Аналіз фізико-механічних, хімічних, конструкторсько-технологічних властивостей матеріалу деталі	8
1.3 Хімічний склад і механічні характеристики	9
1.4 Технологічні властивості	9
1.5 Фізичні властивості	10
1.6 Вибір способу штампування	11
1.7 Індукційне нагрівання заготовок	13
2 Технологічні розрахунки	15
2.1 Розрахунки маси і об'єму деталі	15
2.2 Технологічні розрахунки переходів об'ємного штампування заготовки болта	16
2.3 Розрахунки об'єму заготовки болта під висадження	18
2.4 Розрахунки довжини і діаметра вихідної заготовки. Визначення маси заготовки	19
3. Технологічний процес виготовлення болтів, вибір виду і кількості ковальських операцій	20
3.1 Визначення технологічних зусиль висадження болта. Визначення зусиль відрізки заготовок	21
3.2 Зусилля при гарячому висадженні	22
3.3 Пресове обладнання	24
4 Проектування технологічного оснащення – штампів	25
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	33

Вступ

Сутність процесів обробки металів тиском полягає в наданні металу певної форми. При цьому змінюються також властивості і структура металу. В основні промислові процеси обробки металів тиском входять: прокатка, кування, штампування, пресування і волочіння.

Процеси обробки металів тиском ефективно замінюють інші способи виготовлення металевих виробів. Наприклад, виготовлення шестерень, гладких і східчастих валів, поршневих пальців різними процесами обробки металів тиском дає 25...35 % економії металу і на 20...30 % знижує трудомісткість у порівнянні з обробкою різанням.

В галузі машинобудування і металообробки неухильно підвищується питома вага обробки металів тиском, широко застосовується в промисловості об'ємне штампування. Розвиток процесів обробки металів тиском йде шляхом підвищення продуктивності, розширення сортаменту, економії металу, зниження собівартості і поліпшення якості продукції на основі комплексної механізації, автоматизації і використання електронно-обчислювальної техніки для керування технологічними процесами.

Стрижневі кріпильні вироби (болти, гвинти, шурупи, заклепки, цвяхи тощо) у кількісному вираженні є найбільш масовими деталями, які знаходять широке застосування в різних галузях промисловості. Кріплення з корозійностійких сталей використовують в атомній енергетиці, нафтовій і газовій промисловостях, авіа- і суднобудуванні, медичній техніці, харчовій промисловості і інших галузях.

Специфічні властивості нержавіючих сталей (хімічний склад, структура, структурні перетворення при нагріванні і пластичному деформуванні, інтенсивне зміцнення при холодному деформуванні, "налипання" на інструмент тощо) створюють певні труднощі при

штампуванні кріпильних виробів. При цьому виникають проблеми, пов'язані зі зниженням якості виробів, низькою продуктивністю, високими витратами матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів. Тому основні напрямки досліджень в області виробництва кріпильних виробів з нержавіючих сталей пов'язані з пошуком нових марок сталей і мастильних матеріалів, розробкою технологій підготовки металу до штампування і удосконалюванням процесів деформування.

При вдосконаленні процесів штампування кріпильних виробів з нержавіючих сталей необхідно використовувати сучасні методи моделювання, які дозволять при проектуванні технології здійснювати пошук ефективних схем і режимів деформування, що забезпечують одержання якісних виробів при зниженні витрати на виробництво.

Розробка високоефективних технологій штампування болтів і гвинтів з нержавіючих сталей на базі сучасних методів дослідження з використанням комп'ютерного моделювання є актуальним завданням удосконалювання процесів виготовлення корозійностійких стрижневих виробів. Тому визначення раціональних схем і режимів деформування з використанням сучасних методів дослідження процесів обробки металів тиском дозволить розв'язати актуальну проблему підвищення якості виробів з нержавіючих сталей і ефективності виробництва.

1. Характеристика деталі і вибір способу штампування

1.1 Опис деталі

Болт – кріпильний виріб у вигляді стрижня із зовнішнім різьбленням, що застосовується для фіксації деталі в одній точці, із шестигранною головкою під гайковий ключ, що утворює з'єднання разом з різьбовим отвором за допомогою гайки.



Рисунок 1 – Болт DIN 931

1.2 Аналіз фізико-механічних, хімічних, конструкторсько-технологічних властивостей матеріалу деталі

Найпоширенішими матеріалами, застосовуваними в штампувальному виробництві, є прокат металів: сталі, міді і її сплави, алюміній і алюмінієві сплави, нікель і його сплави, цинк тощо, а також неметалічні матеріали. Матеріал деталі повинен задовольняти не тільки її призначенню і умовам роботи, але і технологічним вимогам, що впливають із характеру виникаючих при виготовленні деформацій. Внаслідок цього матеріал повинен мати визначені фізичні, хімічні і механічні властивості, що задовольняють технічним умовам по товщині і якості поверхні.

Придатність матеріалу для штампування характеризується, насамперед, його механічними характеристиками.

У даній роботі ми будемо розглядати сталь 12X18H10T, з якої отримуємо болт DIN 931.

1.3 Хімічний склад і механічні характеристики

Марка сталі 12X18H10T – це високолегована, жароміцна, корозійностійка марка сталі з добавками хрому і нікелю.

Болт M20x180 12X18H10T DIN 931 – це кислотостійкий і жароміцний кріпильний виріб з нержавіючої сталі, виготовляється в відповідності з DIN 931, має високий коефіцієнт опору корозії при експлуатації в агресивних середовищах. Використовується в харчовій промисловості, нафтохімічному машинобудуванні, приладобудуванні, у суднобудуванні і медицині.

Таблиця 1 - Хімічний склад, %

Вуглець	Кремній	Марганець	Хром	Сірка	Фосфор	Мідь	Нікель	Титан
C	Si	Mn	Cr	S	P	Cu	Ni	Ti
До 0,12	До 0,8	До 2	17-19	0,02	0,035	0,25	9-11	0,80

Сталь 12X18H10T ГОСТ 5945-75 має такі механічні характеристики:

- межа міцності (не менше) $\sigma_B = 510$ МПа;
- межа текучості $\sigma_T \approx 196$ МПа;
- відносне подовження (не менше) $\delta = 40$ %;
- відносне звуження (не менше) $\psi = 55$ %.

1.4 Технологічні властивості

Температура кування: початок 1200 °С, кінець 850 °С. Охолодження на повітрі.

Зварюваність: зварюється без обмежень, крім деталей після хіміко-термічної обробки. Способи зварювання: ручне дугове зварювання (РДЗ), автоматичне дугове зварювання (АДЗ) під флюсом і газовим захистом, контактне зварювання (КТЗ).

Оброблюваність різанням: у гарячекатаному стані при твердості НВ 169 в загартованому стані при $\sigma = 610$ МПа: $K_{u_{тв.спл.}} = 0,85$, $K_{u_{ш.ст.}} = 0,3$ (коефіцієнти оброблюваності для умов гостріння різцями відповідно твердосплавними і зі швидкорізальної сталі).

1.5 Фізичні властивості

- модуль нормальної пружності, $E = 198$ ГПа;
- модуль пружності при зрушенні крутінням, $G = 77$ ГПа;
- щільність, $\rho_n = 7705$ кг/см³;
- коефіцієнт теплопровідності, $\lambda = 25$ Вт/(м·°С);
- питомий електроопір, $\rho = 725$ нОМ·м;
- коефіцієнт лінійного розширення, $\alpha = 16,6 \cdot 10^{-6}$ 1/°С;
- питома теплоємність, $C = 462$ Дж/(кг·°С).

Зі збільшенням відносного подовження δ здатність піддаватись обробці штампуванням металу поліпшується, а зі збільшенням твердості – погіршується. На здатність піддаватись обробці штампуванням металу впливає і відношення границі текучості σ_T до межі міцності σ_B . Чим воно менше, тем краще здатність піддаватись обробці штампуванням металу. Для нашого випадку $\sigma_T/\sigma_B=0,493$.

Метали, схильні до старіння, погано протистояють напругам, що виникають при формотворних деформаціях. З іншого боку, старіння, як і наклеп, приводить до підвищення твердості і міцності, втраті пластичності і ударної в'язкості. Наслідки явища старіння і механічного зміцнення можна усунути за рахунок попереднього або проміжних відпалів заготовок.

При оцінці здатності піддаватись обробці штампуванням металу, крім механічних властивостей, необхідно також звертати увагу на хімічний склад і мікроструктуру матеріалу. Підвищений вміст домішок, газів, а також легуючих елементів і добавок змінює структуру металу і його механічні характеристики.

Неметалеві матеріали відрізняються від металів своєю структурою, фізичними і механічними властивостями; більшість із них мають аморфну або яскраво виражену шарувату або волокнисту структуру. У той же час вони мають значно меншу щільність, ніж в металів, меншу твердість і відносно низькі механічні показники.

У такий спосіб:

- фізико-механічні властивості матеріалу повинні відповідати процесу і характеру деформацій;

- формозміна заготовки, як правило, супроводжується значним підвищенням механічних характеристик матеріалу, що дозволяє використовувати в якості вихідного менш міцний, але більш пластичний матеріал.

1.6 Вибір способу штампування

Враховуючи конструктивні особливості деталі – тіло обертання східчастої форми, діаметрального розміру в плані, можна зробити висновок про те, що для виготовлення даної деталі оптимальним варіантом буде застосування технології гарячого штампування на пресі у відкритому штампі, із застосуванням індукційного нагрівання, тому що це дозволить збільшити коефіцієнт використання матеріалу і продуктивність, а також дозволить виключити обов'язкову участь у процесі висококваліфікованого робітника.

Послідовність технологічних операцій для виготовлення штампування деталі болт: обробка сортового прокату на заготовки для штампування на сортових ножицях, нагрівання заготовки до кувальних температур в індукційному нагрівачі, штампування на пресі за два переходи, що включає в себе попереднє осадження і основну формотворну операцію.

Кривошипні преси у порівнянні з молотами мають ряд переваг.

Підвищена точність одержуваних поковок завдяки сталості ходу преса і визначеності нижнього положення повзуна, що дозволяє зменшити відхилення розмірів поковок по висоті.

Збільшений коефіцієнт використання металу внаслідок більш досконалої конструкції штампів, обладнаних верхнім і нижнім виштовхувачами, що дозволяє зменшити штампувальні ухили, припуски, напуски, допуски і тим самим приводить до економії металу і зменшенню наступної обробки кувань різанням.

Поліпшені умови праці внаслідок менших шумових ефектів, вібрації, і струсу ґрунту, ніж при роботі на молотах, і відносно спокійним неударним характером роботи.

Можливість застосування автоматичних подавачів заготовок.

Більш високою продуктивністю в 1,4...2 рази при штампуванні поковок шестерень, тому що деформація на пресі в кожному рівчачку відбувається за один хід, а на молоті за кілька ударів.

Більш високому ККД, що досягає 6...8%; економічний (приведений до енергії палива) ККД преса в 2...4 рази вище, ніж у молота.

Зниження собівартості продукції за рахунок зниження витрати металу і експлуатаційної вартості.

Робота на пресах більш проста, тому що не потрібне регулювання енергії удару, не потрібно високої кваліфікації робітників.

1.7 Індукційне нагрівання заготовок

Індукційні нагрівачі, що застосовуються в ковальсько-штампувальному виробництві, конструктивно складаються із засобів нагрівання – індукторів і механізмів завантаження, переміщення і вивантаження заготовок, що нагріваються.

Параметри індуктора отримані із практики індукційного нагрівання заготовок перед штампуванням наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Параметри індуктора

Внутрішній діаметр, мм	130
Довжина обмотки, мм	760
Число витків	40
Число заготовок в індукторі	4
Частота струму, кГц	2,5
Напруга, В	750
Середня потужність генератора, кВт	155
Темп видачі заготовки, с	33
Час нагрівання заготовки, с	132
Продуктивність, кг/год	425

Для роботи при напрузі 127 В індуктор підключається через понижувальний трансформатор.

Даний нагрівач є нагрівачем методичної дії. У такому нагрівачі заготовки переміщуються з постійною швидкістю за допомогою пневматичного механізму. В індукторі одночасно перебувають 4 заготовки. Транспортування нагрітих заготовок для наступних операцій здійснюється по ланцюговому транспортеру.

Переваги індукційного нагрівання.

До переваг електронагріву відносяться:

1. Економія і більша швидкість нагрівання металу, відсутність необхідності подачі повітря в камеру нагрівання (як у випадку застосування печей для підтримки горіння палива), що значно зменшує утворення окалини. Втрати металу у вигляді окалини при індукційному нагріванні становлять усього 0,2...0,4 % від маси металу, що нагрівається, що майже в 10 разів менше, чим при нагріванні полум'ям.

2. Підвищення стійкості штамів. При зменшенні окалини на металі стійкість штамів підвищується, тому що окалина чинить абразивний вплив.

3. Підвищення продуктивності праці. Більша швидкість нагрівання дозволяє збільшити температуру початку штампування, тому що перегрів металу при малих витримках у нагрітому стані відбувається при більш високих температурах. Штампування при більш високих температурах є доцільним через менші витрати роботи на деформацію, що приводить до підвищення продуктивності.

4. Поліпшення умов праці. Відсутність бруду і кіптяви на робочому місці поліпшує умови праці в гарячих цехах, що наближає умови роботи в них до умов роботи в холоднопресових.

5. Підвищення якості продукції. Рівномірність нагрівання і точний контроль температурного режиму при електронагріві дозволяють забезпечити однорідні структуру і властивості металу, скоротити теплові види браку і збільшити точність розмірів поковок за рахунок зменшення коливання величини усадки при їх остиганні.

6. Відсутність необхідності в ретельному очищенні поковок; економія часу на очищення заготовок від окалини перед штампуванням; простота обслуговування нагрівачів; зручність застосування захисних атмосфер у нагрівальних індукторах тощо.

2 Технологічні розрахунки

2.1 Розрахунки маси і об'єму деталі

Об'єм деталі буде дорівнює алгебраїчній сумі елементарних об'ємів. Масу деталі визначаємо на підставі креслення готової деталі (рисунок 2). Для цього розбиваємо деталь на елементарні об'єми 1 і 2.

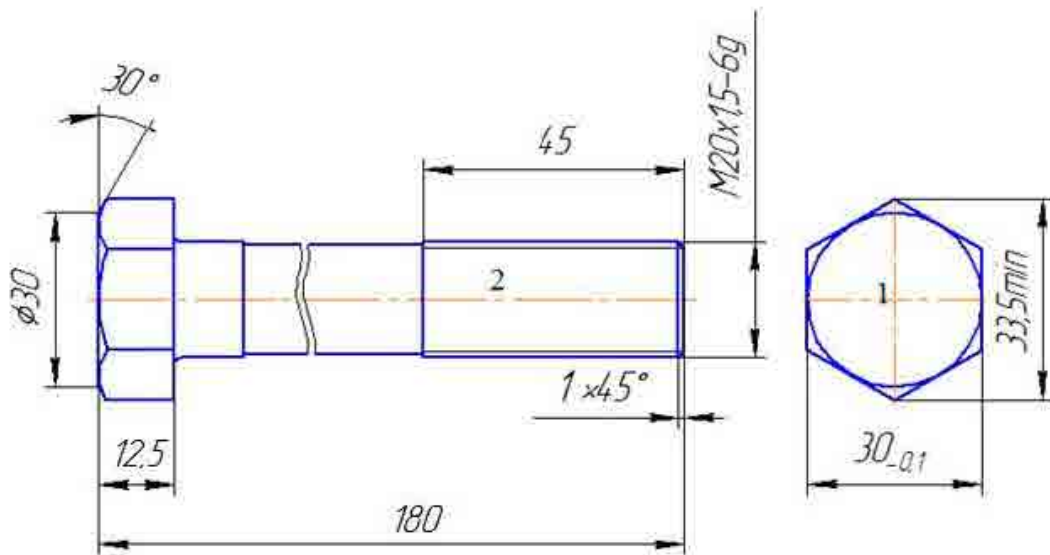


Рисунок 2 – Болт М20х180

Об'єм ділянки 1 визначаємо таким чином: множимо площу правильного шестикутника на висоту H , площу визначаємо по формулі:

$$S = (3\sqrt{3})/2 \cdot R^2 = 2,59 \cdot 225 = 0,0005 \text{ м}^2.$$

Потім визначаємо об'єм ділянки 1:

$$V_1 = S \cdot H = 0,0005 \cdot 0,0125 = 0,000007 \text{ м}^3.$$

Ділянка 2 є циліндр, об'єм якого можна визначити по формулі:

$$V_2 = \pi R^2 h = 3.14 \cdot 0,012 \cdot 0,17 = 0,00005 \text{ м}^3.$$

Повний об'єм деталі по формулі:

$$V = V_1 + V_2 = 0,000007 + 0,00005 = 0,000057 \text{ м}^3.$$

Визначаємо масу деталі по кресленню готової деталі по формулі:

$$m = V \cdot \rho, \text{ де } \rho = (7,7-7,9) \cdot 103 \text{ кг/м}^3,$$

$$m = 7.8 \cdot 0,057 = 0,444 \text{ кг.}$$

2.2 Технологічні розрахунки переходів об'ємного штампування заготовки болта

Основою для вибору оптимальних технологічних переходів об'ємного штампування є відношення:

$$\frac{ICO}{DCO},$$

$$\frac{DC}{DCO},$$

де DCO – діаметр вихідної заготовки;

ICO – довжина частини заготовки, яка висаджується;

DC – діаметр частини заготовки, яка висаджується.

Розрахунок розмірів заготовки болта ведеться за формулами:

$$DC = 1,15 \cdot SC,$$

де DC – діаметр заготовки під обрізку шестигранної головки;

SC – розмір під ключ, номінальний.

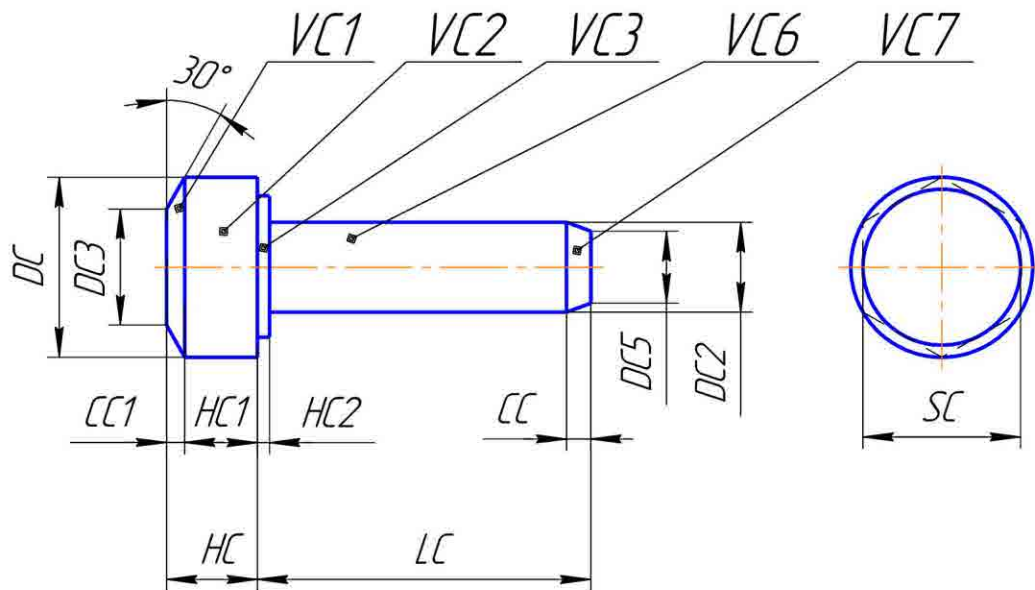


Рисунок 3 – Розміри заготовки болта

$$DC = 1,15 \cdot 30 = 34,5 \text{ мм.}$$

Висота фаски:

$$CC1 = \frac{DC - DC3}{2} \cdot \operatorname{tg} 30^\circ,$$

де $DC3$ – вибирається з таблиці в залежності від розміра SC

$$CC1 = \frac{34,5 - 30}{2} \cdot 0,577 = 1,29 \text{ мм.}$$

Висота циліндричної частини головки:

$$HC1 = HC - (CC1 + HC2),$$

де HC – висота головки болта, номінальна;

$HC2$ – висота "мертвої шайби", номінальна.

$$HC1 = 12,5 - (1,29 + 0,45) = 10,76 \text{ мм.}$$

Висота кінцевої фаски під накатку різьблення:

$$CC = \frac{DC2 - DC5}{2} \cdot \operatorname{ctg} 30^\circ,$$

де $DC2$ – діаметр під накатку метричного різьблення, найменший, призначається за ГОСТ 19256-73;

$DC5$ – діаметр кінцевої фаски, призначається залежно від номінального діаметра різьблення.

Таким чином $CC = 1,5$ мм.

2.3 Розрахунки об'єму заготовки болта під висадження

Об'єм фаски торця головки:

$$VC1 = 0,2618 \cdot CC1 \cdot (DC^2 + DC \cdot DC3 + DC3^2),$$

$$VC1 = 0,2618 \cdot 1,29 \cdot (34,5^2 + 34,5 \cdot 30 + 30^2) = 1055,46 \text{ мм}^3.$$

Об'єм циліндричної частини головки:

$$VC2 = 0,785 \cdot DC^2 \cdot HC1,$$

$$VC2 = 0,785 \cdot 34,5^2 \cdot 10,76 = 10053,56 \text{ мм}^3.$$

Об'єм «мертвої шайби»:

$$VC3 = 0,785 \cdot DC4^2 \cdot HC2,$$

$$VC3 = 0,785 \cdot 30^2 \cdot 0,45 = 317,92 \text{ мм}^3.$$

Об'єм циліндричної частини стрижня під накатку різьблення:

$$VC6 = 0,785 \cdot DC2^2 \cdot LC3,$$

де $LC3$ – довжина стрижня під накатку різьблення.

$$VC6 = 0,785 \cdot 400 \cdot 167,5 = 52595 \text{ мм}^3.$$

Об'єм кінцевої фаски стрижня:

$$VC7 = 0,2618 \cdot CC \cdot (DC2^2 + DC2 \cdot DC5 + DC5^2),$$

$$VC7 = 0,2618 \cdot 1,29 \cdot (34,5^2 + 34,5 \cdot 18,2 + 18,2^2) = 826,08 \text{ мм}^3$$

Повний об'єм заготовки болта:

$$VC = VC1 + VC2 + VC3 + VC6 + VC7,$$

$$VC = 1055,46 + 10053,56 + 317,92 + 52595 + 826,08 = 64048,02 \text{ мм}^3.$$

Об'єм головки заготовки болта:

$$VC8 = VC1 + VC2 + VC3,$$

$$VC8 = 1055,46 + 10053,56 + 317,92 = 11426,94 \text{ мм}^3.$$

Об'єм стрижня заготовки болта:

$$VC9 = VC6 + VC7,$$

$$VC9 = 52595 + 826,08 = 53421,08 \text{ мм}^3.$$

2.4 Розрахунки довжини і діаметра вихідної заготовки.

Визначення маси заготовки

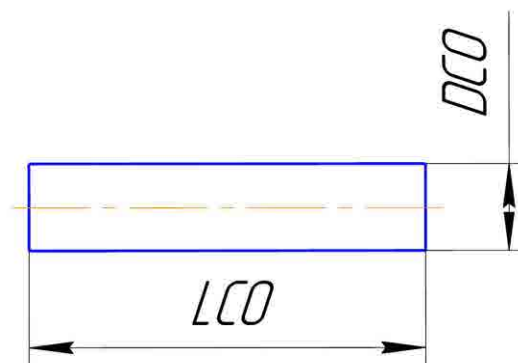


Рисунок 4 – Початкова заготовка

$$LCO = \frac{VC}{0,785 \cdot DCO^2},$$

де DCO – діаметр вихідної заготовки, призначається.

$$LCO = \frac{64048,02}{0,785 \cdot 20^2} = 204 \text{ мм.}$$

Визначаємо масу кування по формулі:

$$m = V \cdot \rho, \text{ где } \rho = (7,7 - 7,9) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3;$$

$$m = 7,8 \cdot 0,064 = 0,49 \text{ кг.}$$

3. Технологічний процес виготовлення болтів, вибір виду і кількості ковальських операцій

Технологічний процес виготовлення деталі болт за допомогою гарячого штампування починається з очищення і нарізування заготовок. Потім заготовки проходять повний цикл операцій по перетворенню в міцне і надійне кріплення:

- Розігрів до 1000 градусів за допомогою індуктора.
- Формування головки деталі за допомогою ударного преса. Для виготовлення виробів використовують вихідну заготовку діаметром не більш 0,98 від номінального діаметра стрижня. Висадження головки виконують на одній операції.

- Зняття фаски на фрезерному верстаті.
- Нарізування різьблення на автоматичному верстаті.

Щоб забезпечити високу корозійну стійкість кріплення, болти піддають оцинкуванню. Етапи нанесення покриття:

- Промивання деталей у гарячій воді.
- Хімічне очищення поверхні від окислів металу шляхом травлення в соляній кислоті.

- Нейтралізація кислоти, що залишився, за допомогою повторного промивання водою.
- Занурення деталей у цинковий розчин, розігрітий до температури 450 градусів.

При хімічній гальванізації шар цинку на деталь осаджують у розчині електроліту. Готові болти полірують і усувають механічні дефекти. По закінченню процесу виробництва болтів з кожної партії готових виробів беруть по кілька зразків для контролю параметрів кріплення.

3.1 Визначення технологічних зусиль висадження болта.

Визначення зусиль відрізки заготовок

Розрізування прутків на мірні частини здійснюється на сортових кривошипних ножицях, вибір яких проводиться по розрахунковому зусиллю.

Зусилля розраховується по формулі:

$$P_{\text{нож}} = k \cdot \tau_{\text{зр}} \cdot G_{\text{зр}},$$

де: P – зусилля різання, кг;

k – емпіричний коефіцієнт, для кола $k = 1$;

$G_{\text{зр}}$ – площа зрізу:

$$G_{\text{зр}} = \pi d^2/4, \text{ мм}^2;$$

$\tau_{\text{зр}}$ – опір зрізу:

$$\tau_{\text{зр}} = 0,5 \cdot \sigma_{\text{в}} = 0,5 \cdot 52 = 26 \text{ кгс/мм}^2.$$

$$P_{\text{нож}} = 1 \cdot 260 \cdot (3,14 \cdot 400/4) = 8164 \text{ кгс} = 82 \text{ кН}.$$

Вибираємо сортові відкриті ножиці модель Н1226А с номінальним зусиллям 420 кН. Параметри даних ножиців наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Параметри сортових ножиців Н1226А

Параметр	Норма
Номінальне зусилля, кН	420
Найбільші розміри прокату, що розрізається, мм:	
- діаметр кола	42
- сторона квадрата	36
- штаба	16x80
Число ходів повзуна у хвилину	32
Потужність привода, кВт	2,7
Маса, т	0,7
Габаритні розміри, мм	1280x940x760

3.3 Зусилля при гарячому висадженні

Операція штампування відбувається при температурі заготовки $t = 1200$ °С. Матеріал деталі – сталь 12Х18Н10Т – високолегована, жароміцна, корозіційностійка, з добавками хрому і нікелю.

Дійсну величину необхідного зусилля при гарячому висадженні знайти складніше, ніж при холодному штампуванні, тому що при гарячому висадженні вирішальну роль відіграє температура обробки, яку не завжди можна точно визначити; крім того, помітний вплив має швидкість процесу.

Найбільше виправдала себе на практиці емпірична формула

$$P = F \cdot k_f \cdot k \cdot n,$$

де P – зусилля висадження;

F – площа проекції виготовленої деталі в мм²;

k_f – межа міцності (плинності) матеріалу при температурі закінчення

обробки в кГ/мм^2 , для сталі 12Х18Н10Т приймемо $k_f = 12,24 \text{ кГ/мм}^2$;

k – коефіцієнт, що залежить від форми деталі, який береться згідно з рисунком 10, у нашому випадку ухвалюємо $k = 2,1$;

n – фактор, що враховує швидкість, значення якого становлять: 1...1,5 – при роботі на пресах з малою швидкістю; 1,5...2 – при роботі на швидкохідних пресах; 2...5 – для молотів і копрів.

Приймаємо $n = 1,7$.

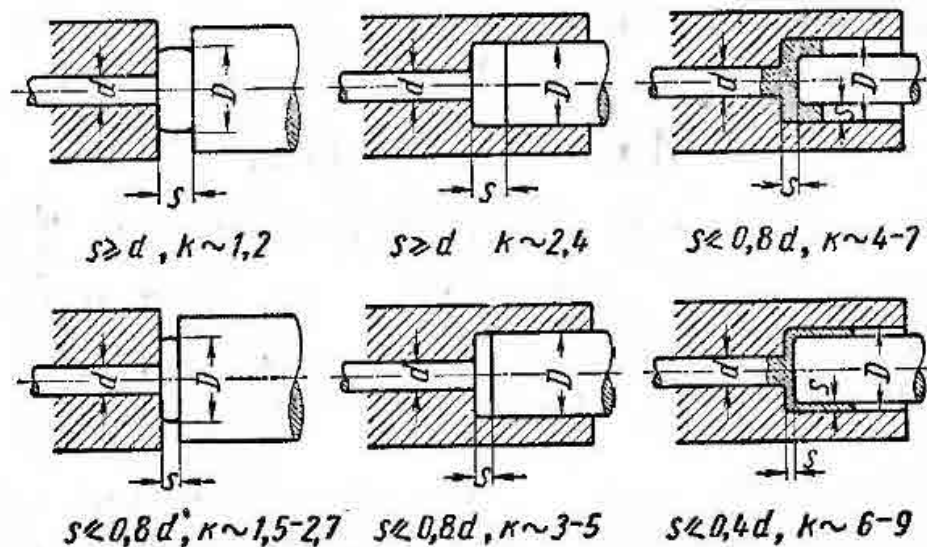


Рисунок 5 – Приклади визначення коефіцієнтів форми при висадженні деталей

Отже, при гарячому штампуванні не можна необхідне зусилля висадження і розмір машини визначати тільки по діаметру оброблюваного матеріалу, не враховуючи температури обробки і форми деталі.

Площа проєкції виготовленої деталі складе:

$$F = \pi \cdot d^2 / 4 = 3,14 \cdot 20^2 / 4 = 314 \text{ мм}^2.$$

$$P = 314 \cdot 12,24 \cdot 2,1 \cdot 1,7 = 13\,721, \text{ кГ} \sim 137,21 \text{ кН},$$

За отриманим значенням зусилля штампування вибираємо прес кривошипний з зусиллям 1000 кН, тому що технологічне зусилля штампування повинне бути менше 85 % від номінального зусилля преса. Розрахунки зусиль штампування на пресі необхідно виконувати з максимально можливою точністю, тому що при використанні преса з недостатнім зусиллям може відбутися аварія.

3.3 Пресове обладнання

Для штампування виробу Болт М20х180 DIN 631 використовуємо прес кривошипно-шатунний мод. К2130С (рисунок 6).

Прес спеціальний однокривошипний мод. К2130С (зусилля 1 МН) відноситься до групи однокривошипних пресів, характеризується регульованим ходом повзуна, застосовується для холодного штампування листового металу. Це, насамперед, такі операції як: вирубка, пробивання, гнуття тощо. Має два режими роботи: режим одиночного ходу і режим безперервного ходу. У випадку використання режиму безперервного ходу, прес може застосовуватися на виробництвах з використанням автоматичних і потокових ліній. Оснащений пневмоподушкою.

Виробник оснастив цю модель кривошипного верстата станиною коробчастої форми, що виконана зі сталі або чавуну найвищої якості. В опорах станини встановлюється ексцентриковий вал, а напрямні підвищеної міцності мають повзун, який є робочим органом преса. Конструкція повзуна має з'єднання з ексцентриковим валом за допомогою регульовального гвинта і рознімного шатуна. Для повноцінного захисту преса від перевантажень виробник встановив запобіжну шайбу, яка при перевантаженні руйнується. Варто окремо відзначити, що конструкція преса забезпечує підвищену надійність і точність процесу обробки, забезпечуючи доступне технічне обслуговування в повній відповідності з європейськими стандартами якості.

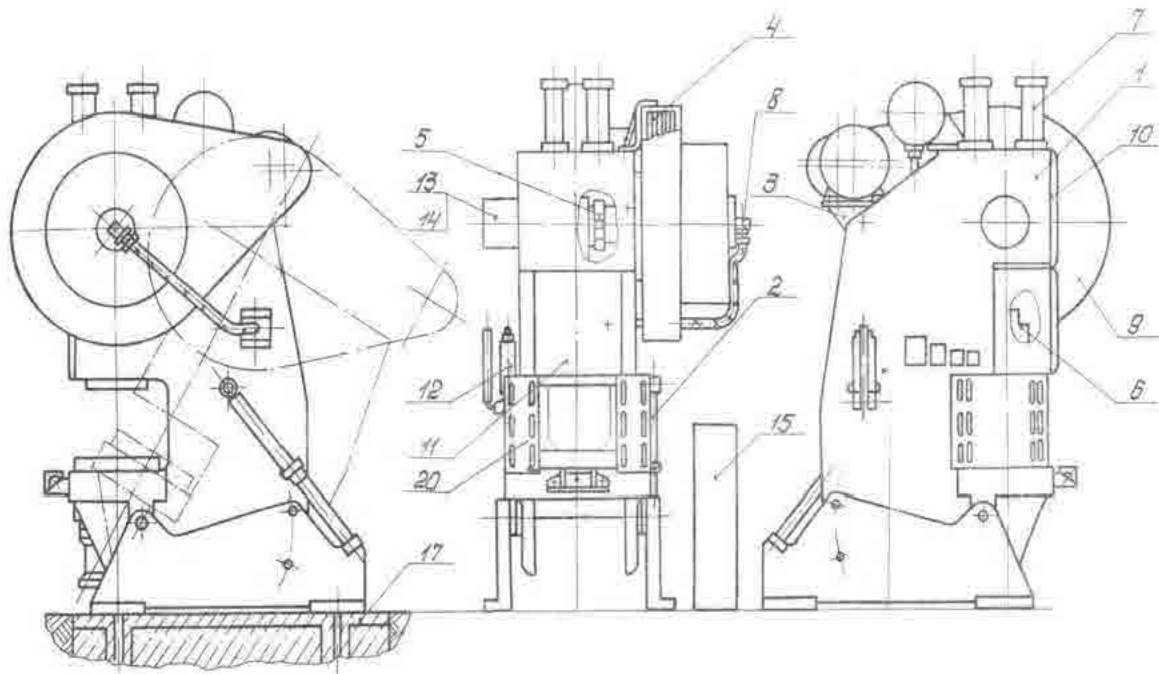


Рисунок 6 – Загальний вид преса K2130C

4 Проектування технологічного оснащення – штампів

Штampi кривошипних горячештампувальних пресів мають збірну конструкцію, завдяки чому спрощується виготовлення змінного інструмента і створюються умови для економії дорогих інструментальних сталей. Штaмп для висадження головок, зображений на рисунку 7, містить пуансон 7 і матрицю 2, встановлені відповідно у верхню і нижню плити.

Пуансон – одна з основних деталей комплекту оснащення, використовуваної в штампуванні і пресуванні матеріалів. При штампуванні пуансон безпосередніх тисне на оброблюваний матеріал і залежно від призначення формує на торці заготовки необхідний профіль. При роботі пуансони зазнають впливу високих силових навантажень. Тому пуансони для процесів гарячого висадження виготовляють із високоміцних сталей. У нашому штампі для пуансона була обрана інструментальна штампова сталь X12Ф1 із твердістю після термообробки 55... 59 HRC.

Таблиця 4 – Технічні характеристики преса

Технічні характеристики	
Номінальне зусилля, тс	100
Хід повзуна, регульований, мм	25-130
Число безперервних ходів повзуна у хвилину	90
Найбільша відстань між столом і повзуном у його нижньому положенні при верхньому положенні регулювання, мм	400
Величина регулювання відстані між підштамповою плитою і повзуном, мм	100
Розміри стола, мм	850x560
Розміри повзуна, мм	330x275
Товщина підштампової плити, мм	100
Потужність головного двигуна, кВт	11,8
Габарити преса (праворуч ліворуч), мм	1672
Габарити преса (попереду назад), мм	2036
висота преса, мм	2717
Вага преса, кг	6645

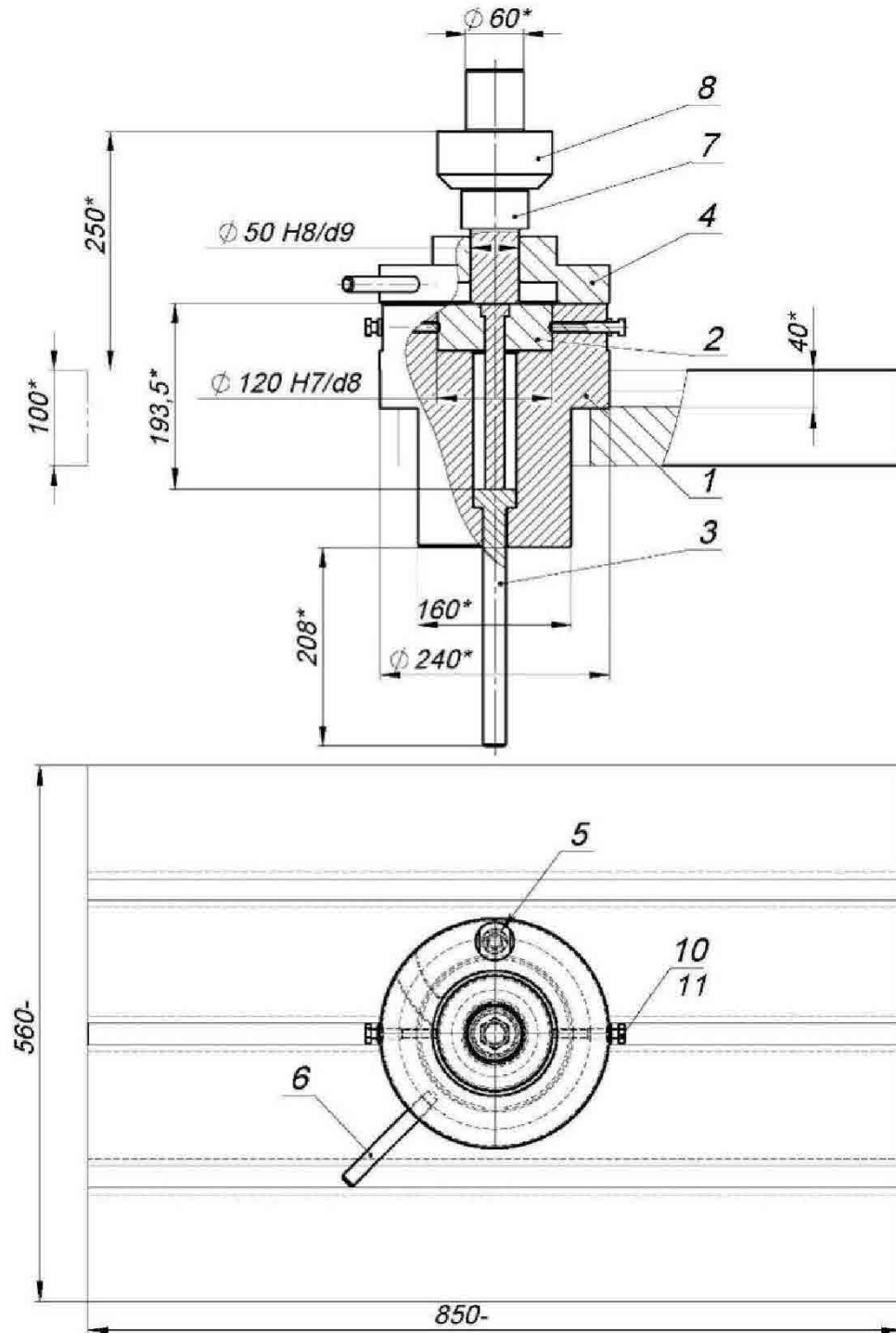


Рисунок 7 – Комплект висаджувальний

Матриця – робочий елемент штампа, що охоплює матеріал, що і оформляє головку болта і є нерухливою. У нашому штампі матриця виготовляється з інструментальної штампової сталі 8Х4В2МФС із твердістю після термообробки 47... 51 НРС.

Стрижневу заготовку довжиною 204 мм розміщують у штампі на загартованому до 42... 46 НРС виштовхувачі 3, виконаному з матеріалу сталь 45, таким чином, щоб довжина деформуємої частини заготовки, що виступає з матриці 2, дією тиску з боку пуансона 7 деформувалася, заповнюючи порожнину рівчака матриці 2 і пуансона 7, створюючи напружений стан у поверхневому шарі рівчака 4. При ході верхньої плити 7 обойма 4, жорстко закріплена на верхній плиті, пуансон 7, переміщуються вниз. Забезпечується співвісне фіксування заготовки 1 щодо пуансона 7 і за рахунок контактних сил тертя, що виникають на всій торцевій поверхні заготовки. Після цього здійснюється формування стовщення, у процесі якої пуансон 7 переміщується, а надлишки металу витісняються в стрижневу частину деталі 2. Потім деталь видаляється за допомогою виштовхувача 3.

Отримані болти мають високі якості поверхні і точність розмірів.

Послідовність штампування болта за допомогою програми SolidWorks (створення моделей) представлено на рисунках 8 – 13, представлених нижче.

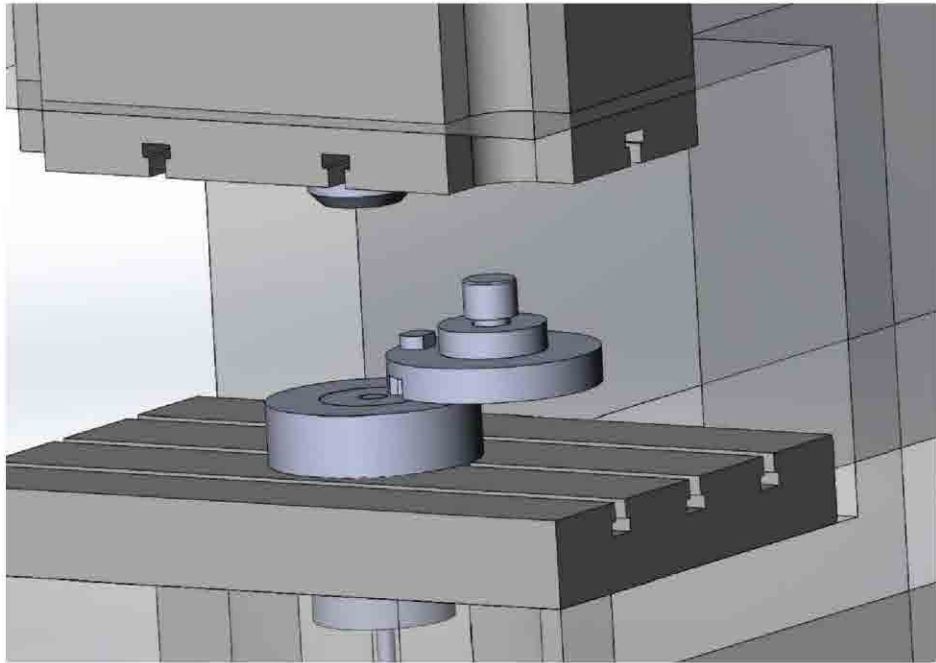


Рисунок 8 – Відкриття блоку

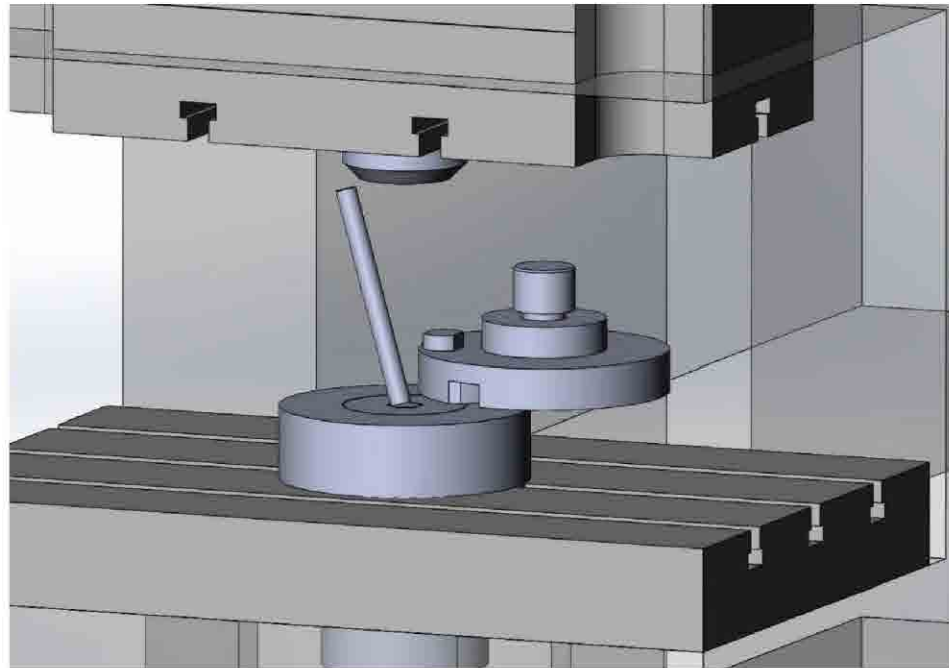


Рисунок 9 – Завантаження заготовки у відкритий блок

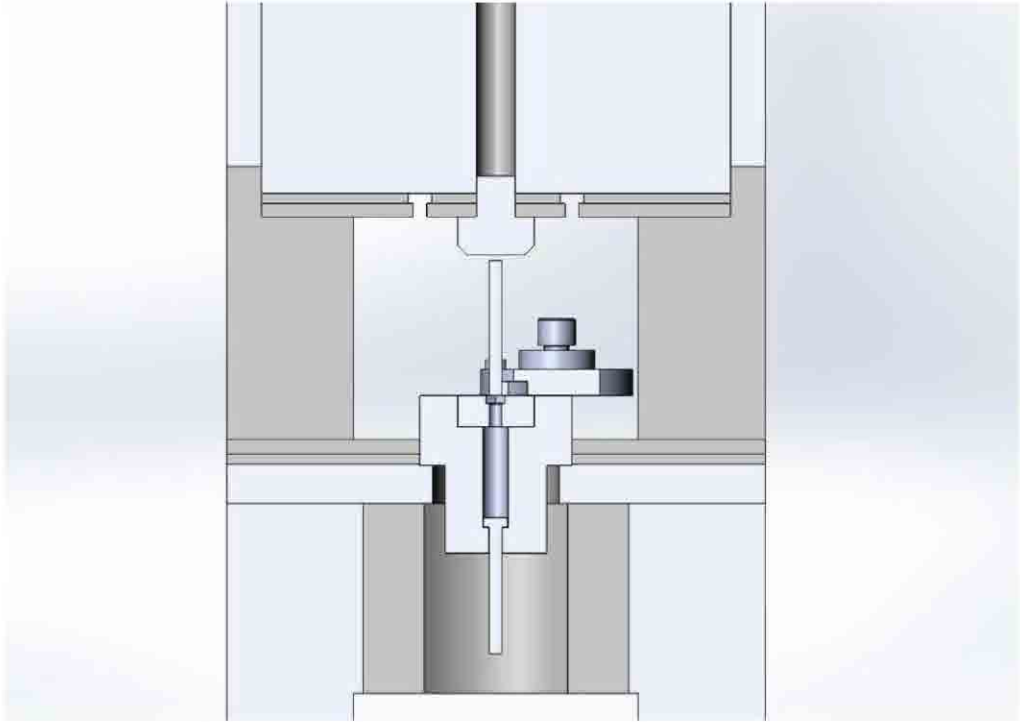


Рисунок 10 – Верхне становище

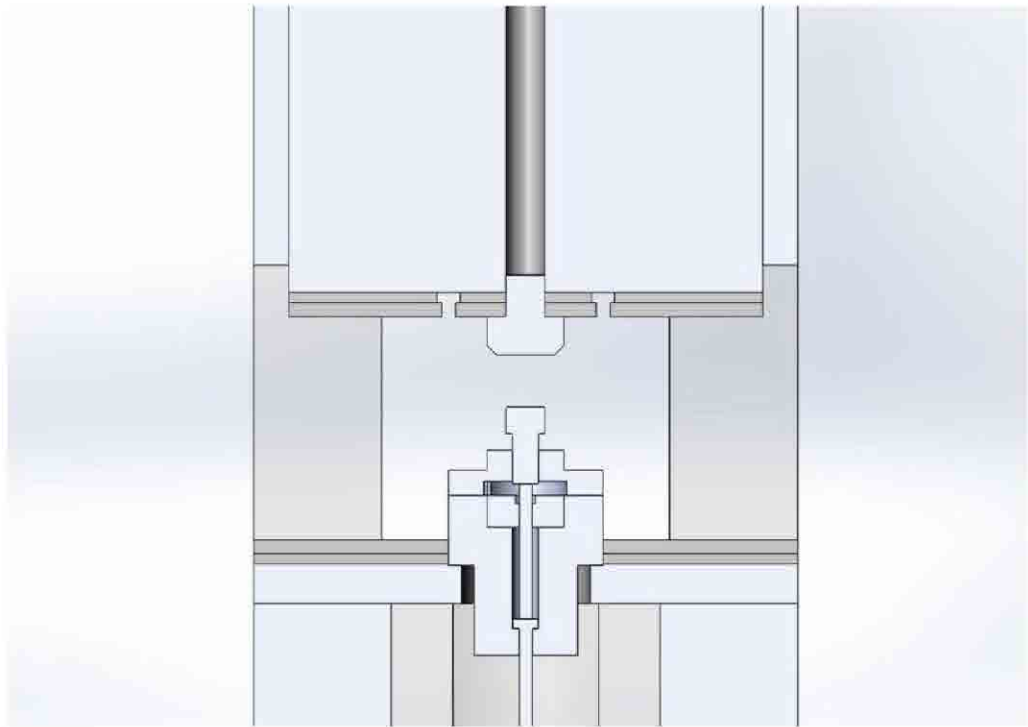


Рисунок 11 – Закрытый блок перед ударом

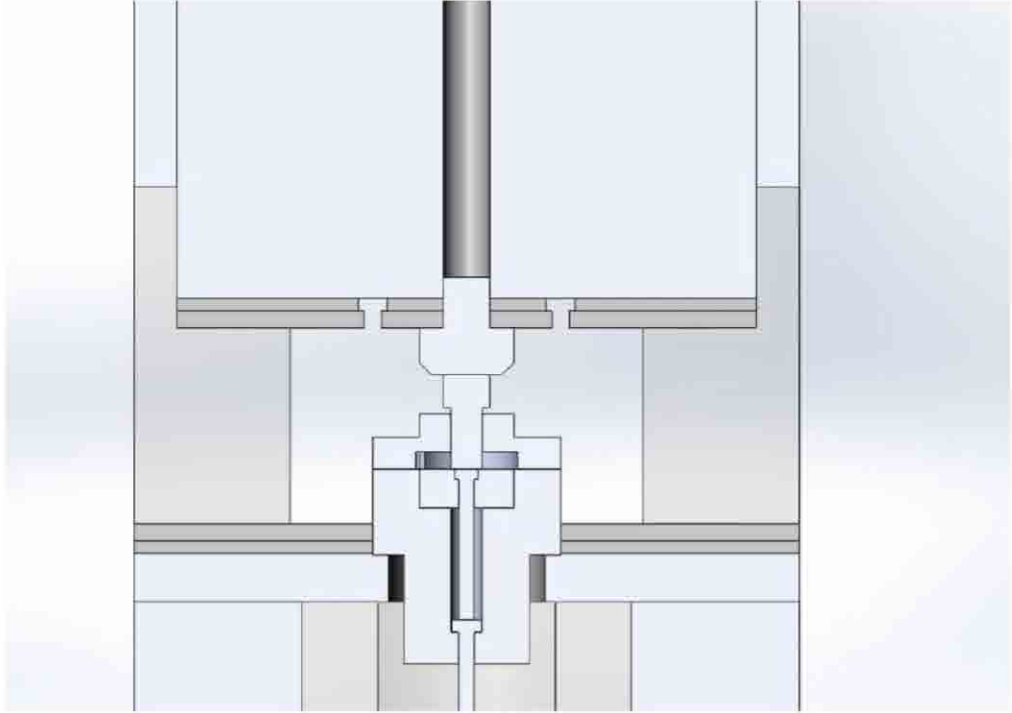


Рисунок 12 – Удар

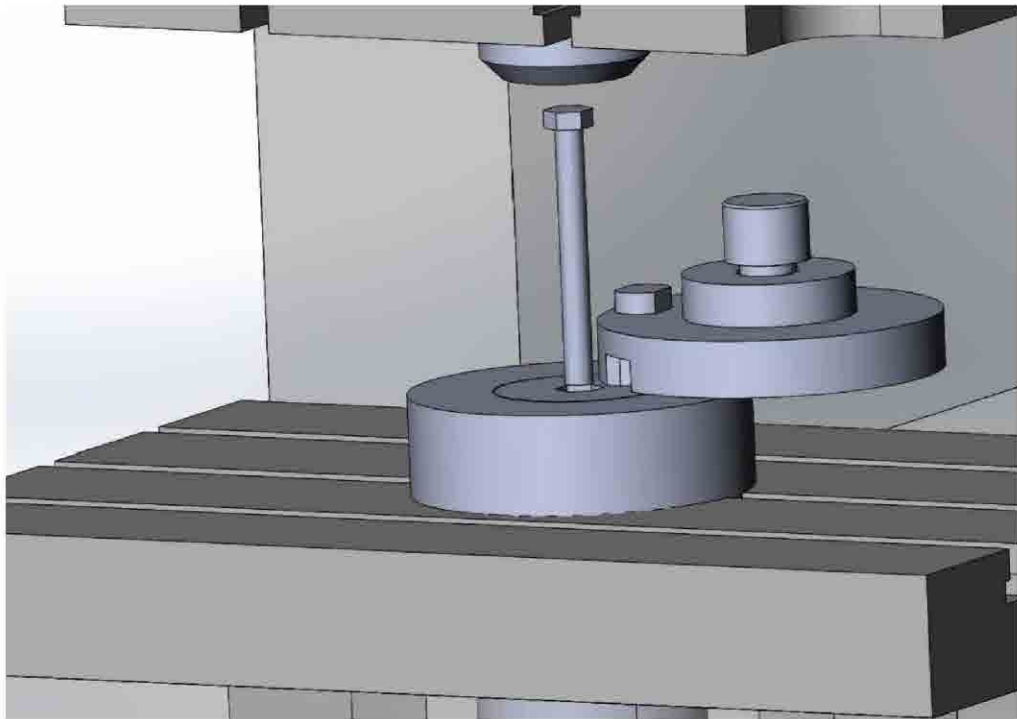


Рисунок 13 – Вилучення деталі

Висновок

У даній роботі був складений технологічний процес штампування деталі «Болт М20х180 DIN 931», розраховані основні технологічні зусилля і підібраний прес спеціальний однокривошипний мод. К2130С для гарячого штампування.

З метою аналізу і перевірки правильності розрахунків технологічного процесу було проведено моделювання технологічних переходів в програмі SolidWorks.

Проведено комплексний конструкторсько-технологічний аналіз деталі; розроблено технологічний процес штампування болта DIN 931, виконано розрахунок зусилля преса, проведено комп'ютерне моделювання процесу гарячого об'ємного штампування болта DIN 931 з заданою в технологічному процесі температурою, проведено аналіз температур, ефективних деформацій та зусиль преса, необхідних для здійснення технологічних переходів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.

2. 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.

3. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке / Романовский В. П. – [6-е изд.]. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1979. – 530 с.

4. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка/Под общ. ред. Л. И. Рудмана. – М. : Машиностроение, 1988. –496 с.: ил. – (Б-ка конструктора).

5. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. 5-е изд., перераб. – М. : Машиностроение, 1980.-728 с. - Т.1.

6. Ковка и штамповка. Справочник в 4 т. / Под ред. Е.И. Семенова. – Т.1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка.– М.: Машиностроение,1985. – 567 с.

7. Ковка и штамповка : Справочник. В 4т. Т. 4. Листовая штамповка / Под ред. А.Д. Матвеева; Ред. совет: Е.И. Семенов/пред./ и др. – М.: Машиностроение, 1985–1987. – 544 с.: ил.

8. Боков В.М. Конструювання та виготовлення штампів. Штмп як об'єкт проектування. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий ТОВ “Імекс ЛТД”, 2005. – 236 с.

9. Кузнечно-штамповочное оборудование/ А.Н. Банкетов, Ю.А. Бочаров, И.С. Добринский и др. М.: Машиностроение, 1970. – 602 с.

Живов Л.И., Овчинников А.Г. Кузнечно-штамповочное оборудование. Прессы. Харьков: Изд-во Харьковского государственного университета, 1966. – 455 с.

11. 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.

12. Плєснецов Ю. О. Ковальськo-штaмпувальнє облaднaння. Мехaнiчнi преси: навч. посiб. / Ю.О. Плєснецов, В.О.Маковей – Х.: НТУ «ХП», 2014. – 236 с. ISBN 978-617-7188-69-7.