

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

24 червня 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему:

**Технологія та оснащення для виготовлення
деталі Болт М10×30**

Виконав здобувач вищої освіти

4 курсу групи ПТ(ОТ)-21

ОПП «Прикладна механіка»

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Віталій ТКАЧЕНКО

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент

_____ Олег СІСА

Рецензент:

д-р техн. наук, професор

_____ Віктор ПУКАЛОВ

Кропивницький 2025

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

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

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
за першим (бакалаврським) рівням вищої освіти
Ткаченку Віталію Петровичу

Тема роботи:

Технологія та оснащення для виготовлення деталі Болт М10х30

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент Олег СІСА

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

Строк подання роботи до захисту:

25 червня 2025 р.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Мета: розробка технологічного процесу та оснащення для холодного штампування деталі Болт М10х30.

Завдання: виконати аналіз деталі та розрахувати розміри вихідної заготовки, розробити технологічні переходи штампування, розрахувати технологічні зусилля за операціями штампування та вибрати обладнання, виконати моніторинг плинної деформованості матеріалу, спроектувати та розрахувати інструмент, розробити схему організації робочого місця оператора ХВА, спроектувати оснащення для холодного штампування деталі Болт М10х30, розробити робочі кресленики на деталі оснащення.

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	23.06.2025 р.	
8	Рецензування роботи	24.06.2025 р.	
9	Захист кваліфікаційної роботи	25.06.2025 р.	

Дата видачі завдання
03 лютого 2025 р.

Здобувач вищої освіти _____ Віталій ТКАЧЕНКО

Керівник роботи _____ Олег СІСА

АНОТАЦІЯ

Ткаченко В. П. Технологія та оснащення для виготовлення деталі Болт М10х30: кваліфікаційна бакалаврська робота: спец. 131 Прикладна механіка / наук. кер. О. Ф. Сіса; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2025. 40 с.

Креслеників – разом 3 аркуші формату А1.

Метою роботи є розробка технологічного процесу та оснащення для холодного штампування деталі Болт М10х30.

Актуальність роботи полягає в підвищенні продуктивності та зменшенні собівартості виготовлення деталі за рахунок використання прогресивної маловідхідної технології штампування на холодно-висадочному автоматі (ХВА).

В роботі виконано аналіз деталі та розраховано розміри вихідної заготовки; розраховано технологічні переходи штампування; розраховано технологічні зусилля за операціями штампування та вибрано обладнання; виконано моніторинг плинної реформованості матеріалу; спроектовано та розраховано інструмент; розроблено схему організації робочого місця оператора ХВА; спроектовано оснащення для холодного штампування деталі Болт М10х30; розроблено робочі кресленики на деталі оснащення.

технологічний процес, холодне висаджування, силовий режим, оснащення для ХВА

ANNOTATION

Vitaliy TKACHENKO. Technology and equipment for manufacturing the part Bolt M10x30: qualifying bachelor's thesis: spec. 131 Applied mechanics / scientific director O. F. Sisa; Central Ukrainian National Technical University – Kropyvnytskyi: CUNTU, 2025. 40 p.

Drawings – a total of 3 sheets of A1 format.

The purpose of the work is to develop a technological process and equipment for cold stamping of the Bolt M10x30 part.

The relevance of the work is to increase productivity and reduce the cost of manufacturing the part by using progressive low-waste stamping technology on a cold stamping machine (CSM).

The work includes an analysis of the part and calculation of the dimensions of the initial workpiece; calculation of stamping technological transitions; calculation of technological efforts for stamping operations and selection of equipment; monitoring of the fluid reformability of the material; design and calculation of the tool; development of a scheme for organizing the workplace of the CSM operator; design of equipment for cold stamping of the Bolt M10x30 part; development of working drawings for the equipment parts.

technological process, cold stamping, power mode, equipment for CSM

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи н тему:

**Технологія та оснащення для
виготовлення деталі Болт М10×30**

КРБ.ПМ.25.20.12.00.00

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу групи ПТ(ОТ)-21
ОПП «Прикладна механіка»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
_____ Віталій ТКАЧЕНКО

Керівник роботи:
канд. техн. наук, доцент
_____ Олег СІСА

ЗМІСТ

Перелік позначень і скорочень	7
Вступ	8
1 Конструктивно-технологічний аналіз деталі та розрахунок розмірів вихідної заготовки	9
2 Розробка технологічних переходів штампування	12
3 Розрахунок технологічних зусиль за операціями штампування та вибір обладнання	18
3.1 Зусилля відрізування заготовки	18
3.2 Зусилля першого переходу	18
3.3 Зусилля другого переходу	19
3.4 Зусилля третього переходу	20
3.5 Вибір обладнання	21
4 Моніторинг плинної деформованості матеріалу	22
5 Проектування та розрахунок інструменту	24
5.1 Розрахунок пуансонів та виштовхувачів	24
5.2 Розрахунок матриць	29
5.3 Моніторинг стійкості робочих деталей	30
6 Розробка схеми організації робочого місця оператора ХВА	35
Висновки	36
Список використаних джерел	37
Додатки	38
Додаток А Специфікація «Комплект інструменту для холодного штампування деталі Болт М10х30»	39
А.1 Перший аркуш специфікації на складальний кресленик	39
А.2 Другий аркуш специфікації на складальний кресленик	40

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

- δ - відносне подовження при розриві, %;
 E – логарифмічний ступінь деформації;
 e – відносний ступінь деформації;
 σ_e – тимчасовий опір матеріалу, МПа;
 σ_s – істинний опір матеріалу, МПа;
 σ_m – межа текучості для залишкової деформації, МПа;
 P – зусилля деформації, Н;
 F – площа поперечного перерізу інструменту, мм²;
 p – тиск на інструмент, МПа;
 h – значення висоти вогнища деформації, мм;
 μ - коефіцієнт тертя;
 T – зусилля тертя, Н;
 β - коефіцієнт впливу способу механічної обробки;
ХВА – холодновисадочний автомат.

ВСТУП

Під холодним штампуванням розуміють штампування без попереднього нагрівання заготовки. Для металів та сплавів, що застосовуються при штампуванні, такий процес деформування відповідає умовам холодної деформації.

Холодне штампування підрозділяється на об'ємне штампування та листове штампування. У першому випадку заготовкою служить сортовий прокат, а в другому – листовий.

Такий підрозділ доцільний тому, що характер деформування, застосовані операції та конструкції оснащення для об'ємного та листового штампування значно різняться між собою.

Розрізняють три основних різновиду об'ємного штампування:

- холодне видавлювання;
- холодне висаджування;
- холодне об'ємне формування.

При холодному видавлюванні заготовку поміщають в порожнину, в якій метал видавлюють в отвір що є в робочому інструменті. Видавлювання звичайно виконують на кривошипних та гідравлічних пресах, а також на ХВА. Робочими частинами оснащення є пуансони (рухома частина) та матриці (нерухома частина).

Розрізняють пряме, зворотне, бічне та комбіноване видавлювання.

Холодне об'ємне штампування є одним з найбільш прогресивних способів виготовлення деталей, так як одночасно зі зниженням трудомісткості дає велику економію металу, дозволяючи отримувати деталі практично, або зовсім без відходів.

1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ДЕАЛІ ТА РОЗРАХУНОК РОЗМІРІВ ВИХІДНОЇ ЗАГОТОВКИ

Деталь «Болт М10×30» – кріпильна деталь. Болт має стрижень з різьбою та шестигранну головку під ключ. В конструкції болт може вкручуватися безпосередньо у корпусну деталь, або у гайку. Форма болта зручна у користуванні та забезпечує надійне (але розбірне) з'єднання деталей.

Для визначення розмірів заготовки необхідно розрахувати об'єм деталі «Болт М10×30» (рис. 1.1), бо, як відомо, об'єм деталі дорівнює об'єму заготовки [1, 2, 3].

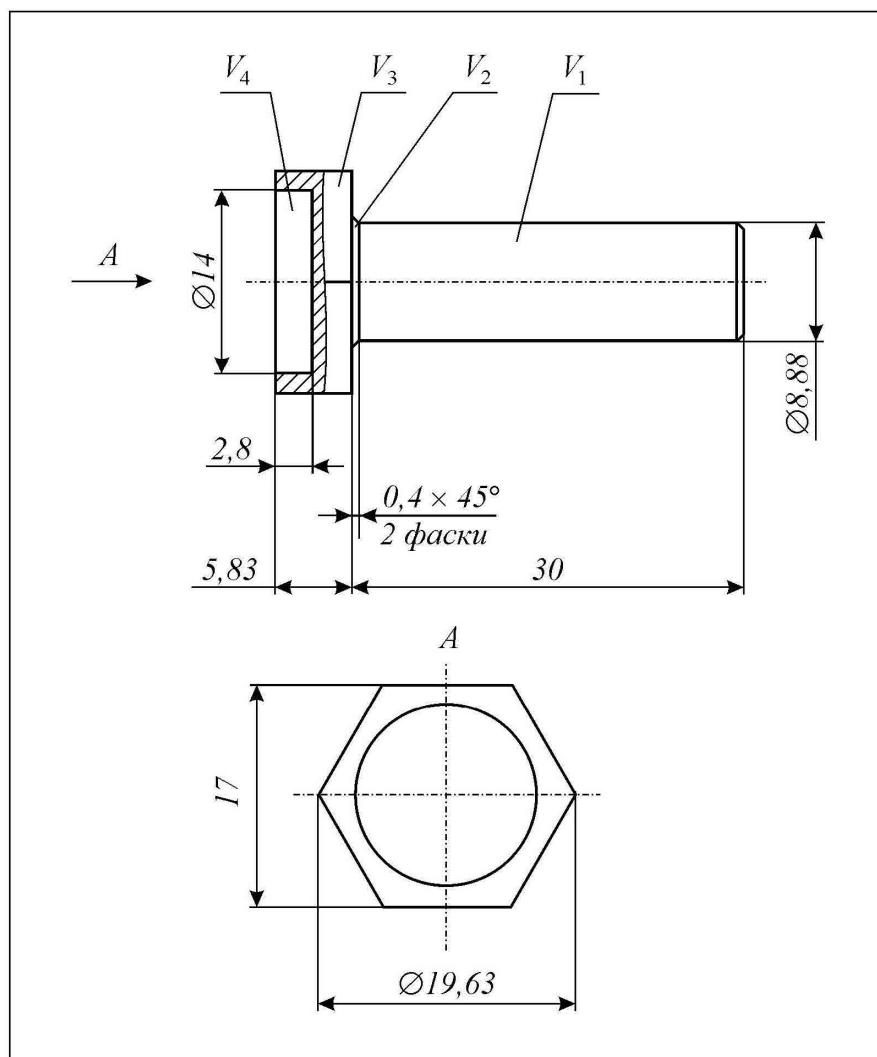


Рисунок 1.1 – Кресленик деталі «Болт М10×30»
перед накатуванням різьби

Умовно ділимо деталь на прості фігури та визначаємо її об'єм:

$$V_{\partial} = V_1 + V_2 + V_3 - V_4, \quad (1.1)$$

де V_1 – об'єм циліндра

$$V_1 = \pi \cdot R^2 \cdot h = 3,14 \cdot 4,44^2 \cdot 30 = 1857,02 \text{ мм}^3;$$

V_2 – об'єм урізаного конуса

$$V_2 = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2) = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,4 \cdot (9,68^2 + 9,68 \cdot 8,88 + 8,88^2) = 189,14 \text{ мм}^3;$$

V_3 – об'єм шестигранної головки

$$V_3 = F \cdot H, \quad (1.2)$$

де F – площа поперечного перерізу шестикутної головки

$$F = 3,464 \cdot r^2 = 3,464 \cdot 8,5^2 = 250,27 \text{ мм}^2;$$

H – висота головки. $H = 5,83$ мм (прийнята за довідником [6]).

Тоді:

$$V_3 = 250,27 \cdot 5,83 = 1751,92 \text{ мм}^3;$$

V_4 – об'єм циліндричної порожнини

$$V_4 = \pi \cdot R^2 \cdot h = 3,14 \cdot 7^2 \cdot 2,8 = 494,55 \text{ мм}^3.$$

Отже

$$V_{\partial} = 1857,02 + 189,14 + 1751,92 - 494,55 = 3303,53 \text{ мм}^3.$$

Тоді довжину заготовки h_3 знаходимо із наступної формули:

$$V_{\partial} = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \cdot h_3. \quad (1.3)$$

Задавшись діаметром заготовки (діаметром прутка) $d_3 = 11 \text{ мм}$, знаходимо довжину заготовки h_3 (рис. 1.2):

$$h_3 = \frac{4 \cdot V_3}{\pi \cdot d_3^2} = \frac{4 \cdot 3303,53}{3,14 \cdot 11^2} = 34,78 \text{ мм}.$$

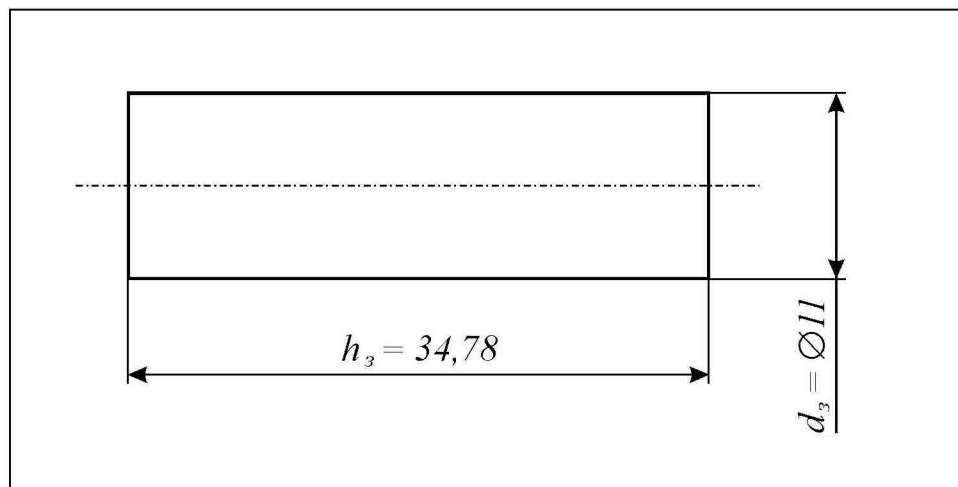


Рисунок 1.2 – Кресленик вихідної заготовки

2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПЕРЕХОДІВ ШТАМПУВАННЯ

Приймаємо трьохперехідний технологічний процес штампування деталі «Болт М10×30»:

- 0-перехід: відрізування;
- перший перехід: пряме видавлювання;
- другий перехід: висаджування головки;
- третій перехід: зворотне видавлювання, формування шестигранника.

Перший перехід. Визначаємо висоту головки h_1 із умови рівності об'ємів напівфабрикату та вихідної заготовки (рис. 2.1):

$$V_2 = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \cdot h_1 + \frac{\pi \cdot h_2}{3} \cdot (d_3^2 + d_3 \cdot d_{cm} + d_{cm}^2); \quad (2.1)$$

$$1446,51 = \frac{3,14 \cdot 121}{4} \cdot h_1 + \frac{3,14 \cdot 0,4}{3} \cdot (11^2 + 11 \cdot 8,88 + 8,88^2);$$

$$1446,51 = 94,98 \cdot h_1 + 124,56;$$

$$h_1 = \frac{1321,95}{94,98} = 13,92 \text{ мм.}$$

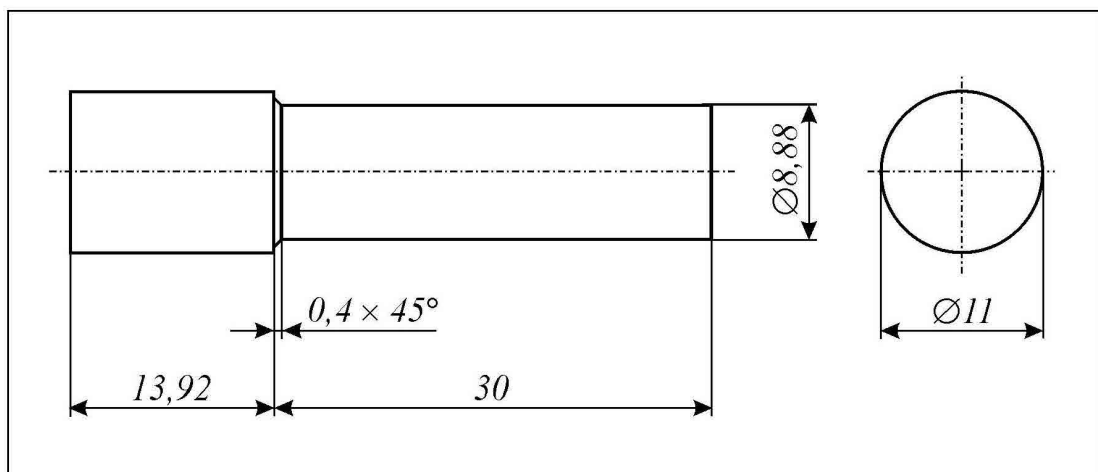


Рисунок 2.1 – Кресленик напівфабрикату після першого переходу

Другий перехід. Задавшись діаметром головки $d_2 = 17$ мм, визначаємо висоту головки h_2 після висаджування (рис. 2.2):

$$\frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \cdot h_1 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} \cdot h_2; \quad (2.2)$$

$$\frac{3,14 \cdot 11^2}{4} \cdot 13,92 = \frac{3,14 \cdot 17^2}{4} \cdot h_2;$$

$$1322,19 = 226,86 \cdot h_2.$$

Звідси
$$h_2 = \frac{322,19}{2226,86} = 5,53 \text{ мм.}$$

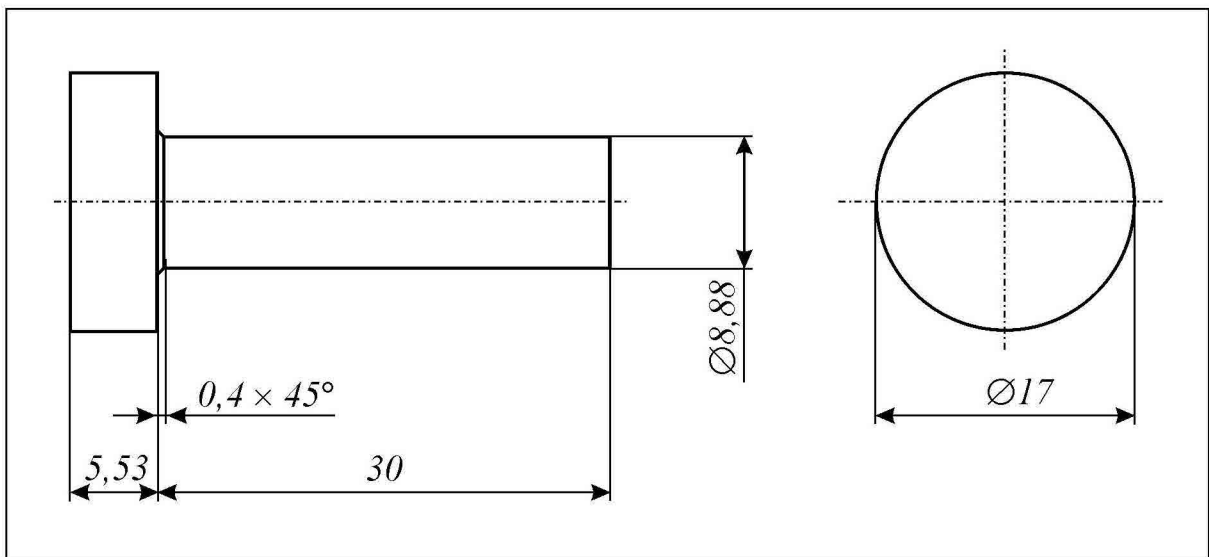


Рисунок 2.2 – Кресленик напівфабрикату після другого переходу

Третій перехід. Визначаємо об'єм циліндричного заглиблення в шестигранній головці під зворотне видавлювання із умови:

$$V_6 = V_{ш} - V_ц; \quad (2.3)$$

$$V_y = \pi \cdot R^2 \cdot h = 3,14 \cdot 8,5^2 \cdot 5,83 = 1322,62 \text{ мм}^3;$$

$$V_e = 1751,92 - 1322,62 = 429,3 \text{ мм}^3;$$

$$429,3 = \frac{3,14 \cdot 14^2}{4} \cdot 2,8;$$

$$429,3 = 430,8.$$

Уточнюємо об'єм видавлювання порожнини та приймаємо діаметр порожнини, що видавлюється, $\varnothing 14$ мм. Тоді $V_e = 430,8 \text{ мм}^3$, тобто такий збіг вважаємо можливим. Остаточню приймаємо геометричні параметри порожнини: $\varnothing 14$ мм, $h_n = 2,8$ мм (рис. 2.3).

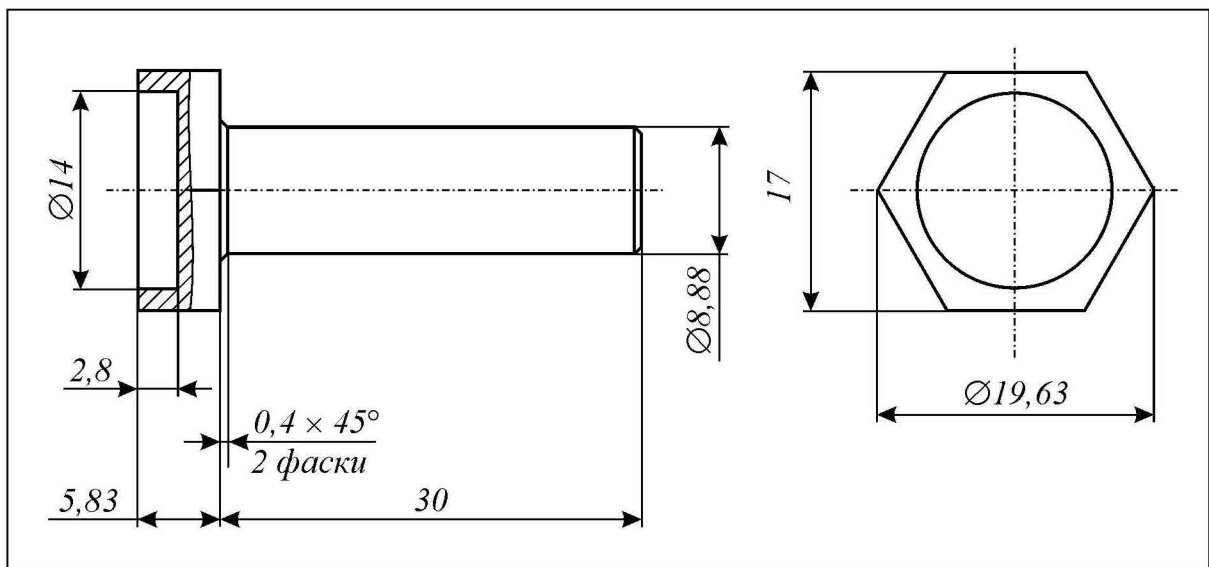


Рисунок 2.3 – Кресленик напівфабрикату після третього переходу

Кресленик останнього (третього) переходу співпадає з креслеником готової деталі перед накатуванням різьби.

Аналіз технологічності деталі:

- перевіряємо можливість задовільного висаджування головки деталі за умови

$$h > 0,5 d_3 \rightarrow h > 0,5 \cdot 11, h > 5,5,$$

де $h = 5,83$ мм.

Оскільки нерівність дотримується, висаджування головки можливе;

- не співвісність штапових елементів деталі не повинна перевищувати $0,05 d_3$, тобто $0,05 \cdot 11 = 0,55$ мм;

- не перпендикулярність осей штапових елементів не повинна перевищувати $(0,05...0,1) d_3$, де $(0,05...0,1) \cdot 11 = 0,55...1,1$. Отримані значення задано на креслениках переходів штампування;

- точність штампування становить за діаметральними розмірами $0,03...0,3$ мм, тобто $0,01 d_3$, у даному випадку $0,01 \cdot 11 = 0,11$ мм. Приймаємо $0,1$ мм. За висотними розмірами точність дорівнює $0,2...1,0$ мм, у даному випадку $0,05 \cdot 11 = 0,55$ мм:

- передбачаються такі параметри шорсткості: бічні поверхні – $Ra = 1,25...2,5$ мкм, приймаємо $Ra = 1,25$ мкм; торцеві поверхні – $Ra = 3,2...6,3$ мкм, приймаємо $Ra = 3,2$ мкм.

Моніторинг технологічної реформованості виробу полягає у визначенні кожного переходу в окремих ділянках об'єму виробу [4, 5, 6].

Розраховуємо висотні та діаметральні деформації на даному переході за формулами:

$$\varepsilon_{h(1)} = \left| \frac{h_0 - h_k}{h_0} \right| \cdot 100\%, \quad (2.4)$$

$$\varepsilon_{D(1)} = \frac{D^2 - d^2}{D^2} \cdot 100\%. \quad (2.5)$$

При прямому видавлюванні (перший перехід):

- висотна деформація

$$\varepsilon_{h(1)} = \left| \frac{34,78 - 44,32}{34,78} \right| \cdot 100 = 27,43\%;$$

- діаметральна деформація

$$\varepsilon_{D(1)} = \frac{11^2 - 8,88^2}{11^2} \cdot 100 = 34,84\%.$$

Таким чином, на першому переході переважає діаметральна деформація.

При висаджуванні (другий перехід) деформації становлять:

$$\varepsilon_{h(2)} = \left| \frac{13,92 - 5,83}{13,92} \right| \cdot 100 = 58,12\%;$$

$$\varepsilon_{D(1)} = \frac{17^2 - 11^2}{17^2} \cdot 100 = 58,13\%.$$

Результати логарифмічної деформації після даного переходу становлять:

- сумарна логарифмічна діаметральна деформація [7]

$$e_{D(2)} = 0,892;$$

- логарифмічна висотна деформація після першого переходу [7]

$$e_{h(1)} = 0,329;$$

- логарифмічна висотна деформація на другому переходу [7]

$$e_{h(2)} = 0,892.$$

- сумарна логарифмічна деформація після другого переходу

$$e_{h(1)} + e_{h(2)} = 0,329 + 0,892 = 1,221.$$

Тоді, відносна деформація після другого переходу буде становити [7]

$$\sum \varepsilon_{h(2)} = 70,5 \%$$

На третьому переході (зворотне видавлювання) деформації становлять:

$$\varepsilon_{D(3)} = \frac{19,63^2 - 17^2}{19,63^2} \cdot 100 = 58,13\%$$

Логарифмічна діаметральна деформація на третьому переході [7]

$$e_{D(3)} = 0,211.$$

- сумарна логарифмічна деформація після третього переходу

$$e_{D(2)} + e_{D(3)} = 0,892 + 0,211 = 1,103.$$

Тоді, відносна деформація після третього переходу буде становити [7]

$$\sum \varepsilon_{D(3)} = 67 \%$$

Відповідно з роботою [7], зазначені степені деформації може витримати сталь 15. Отже, сталь 15 – матеріал для виготовлення деталі «Болт М10×30».

3 РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗУСИЛЬ ЗА ОПЕРАЦІЯМИ ШТАМПУВАННЯ ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ

Встановлюємо значення істинного опору деформації за переходами керуючись діаграмою зміцнення [7]:

- на першому переході – $\sigma_{s(1)} = 640$ МПа;
- на другому переході – $\sigma_{s(2)} = 760$ МПа;
- на третьому переході – $\sigma_{s(3)} = 805$ МПа.

3.1 Зусилля відрізування заготовки

Переважає більшість ХВА обладнана відкритими ножами і відокремлення вихідної заготовки відбувається за схемою неповного відкритого відрізування. Для визначення технологічного зусилля скористуємося наступною формулою:

$$P_{від} = \frac{\pi \cdot k \cdot \sigma_s \cdot d_s^2}{4}, \quad (3.1)$$

де $\sigma_s = 360$ МПа [3];

k – коефіцієнт притушення ріжучих кромek. Приймаємо $k = 1,25$.

Тоді

$$P_{від} = \frac{3,14 \cdot 1,25 \cdot 360 \cdot 11^2}{4} = 42743,25 \text{ Н.}$$

3.2 Зусилля першого переходу

Зусилля прямого видавлювання визначаємо за формулою:

$$P_1 = p \cdot F, \quad (3.2)$$

де p – питоме зусилля видавлювання

$$p = \sigma_s \left[\ln \frac{D_n^2}{D_m^2} + \frac{h(D_n + D_m)}{D_m^2} \right] \cdot \left(1 + \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \frac{D_n^3 - D_m^3}{D_n^2 \cdot h} \right), \quad (3.3)$$

де σ_s – істинний опір деформації для першого переходу (див. вище);

μ - коефіцієнт тертя. Приймаємо $\mu = 0,1$ [8];

h – висота заготовки;

D_n – діаметр пуансона;

D_m – діаметр матриці.

Тоді

$$p = 640 \left[\ln \frac{11^2}{8,88^2} + \frac{30(11 + 8,88)}{8,88^2} \right] \cdot \left(1 + \frac{2}{3} \cdot 0,1 \cdot \frac{11^3 - 8,88^3}{11^2 \cdot 30} \right) = 1430,87 \text{ МПа};$$

F – площа перерізу круглого прокату

$$F = \pi \cdot R^2 = 3,14 \cdot 4,44^2 = 61,9 \text{ мм}^2.$$

Тоді

$$P_1 = 1430,87 \cdot 61,9 = 88571,86 \text{ Н.}$$

3.3 Зусилля другого переходу

Зусилля висаджування головки визначаємо за формулою:

$$P_2 = p \cdot F, \quad (3.4)$$

де p – питоме зусилля висаджування

$$p = \sigma_s \cdot k \left(1 + \frac{\mu \cdot D}{3h} \right), \quad (3.5)$$

де σ_s – істинний опір деформації для другого переходу (див. вище);

D – діаметр заготовки після даного переходу;

k – коефіцієнт, що враховує особливості проведення процесу висаджування, який за даними роботи [8] приймається рівним 1,6.

Тоді

$$p = 760 \cdot 1,6 \cdot \left(1 + \frac{0,1 \cdot 17}{3 \cdot 5,83} \right) = 1334,19 \text{ МПа};$$

$$F = \pi \cdot R^2 = 3,14 \cdot 8,5^2 = 226,86 \text{ мм}^2.$$

Тоді

$$P_2 = 1334,19 \cdot 226,86 = 302681,01 \text{ Н}.$$

3.4 Зусилля третього переходу

Зусилля зворотного видавлювання визначаємо за формулою:

$$P_3 = p \cdot F, \quad (3.6)$$

де p – питоме зусилля висаджування

$$p = \sigma_s \cdot k \left(1 + \frac{\mu \cdot D}{3h} \right), \quad (3.7)$$

Тоді

$$p = 805 \cdot 1,6 \cdot \left(1 + \frac{0,1 \cdot 19,63}{3 \cdot 5,83} \right) = 1427,18 \text{ МПа};$$

$$F = 309,34 \text{ мм}^2.$$

Тоді

$$P_3 = 1427,18 \cdot 309,34 = 441489,37 \text{ Н.}$$

3.5 Вибір обладнання

Визначаємо сумарне зусилля деформації за формулою:

$$P_{\text{сум}} = P_1 + P_2 + P_3, \quad (3.8)$$

Тоді

$$P_{\text{сум}} = 88571,86 + 302681,01 + 441689,37 = 832742,24 \text{ Н.}$$

За сумарним зусиллям деформації вибираємо багато позиційний одноударний ХВА моделі А1920.

Технічна характеристика

Найбільший діаметр стрижня виробу, мм	10
Найбільший діаметр заготовки, мм	12
Номінальне зусилля, кН	1000
Продуктивність, шт./хв.	190
Потужність двигуна головного руху, кВт	42
Найбільша довжина заготовки, мм	50
Габарити (довжина × ширина × висота), мм	5600 × 2900 × 1800
Маса автомата з виносним обладнанням, т	16

4 МОНІТОРИНГ ПЛИННОЇ ДЕФОРМОВАННОСТІ МЕТАЛУ

Оптимізація значень істинного опору деформації σ_s за переходами штампування ще не гарантує збереження цілісності деформованого матеріалу, оскільки пластичність визначається ще й кінематикою переміщення деформованих об'ємів в процесі штампування. Критерієм збереження цілісності деталі після штампування є дотримання умови:

$$L(x, y, z) < L_p(x, y, z), \quad (4.1)$$

де L та L_p – відповідно, фактична та критична ступені деформації зсуву (при останній відбувається перехід деформованої заготовки у інший граничний стан, за яким відбувається руйнування матеріалу).

Співвідношення між фактичною та критичною ступенями деформації характеризується параметром φ :

$$\varphi = \frac{L}{L_p} < 1, \quad (4.2)$$

Параметр φ , який носить назву «ступінь використання ресурсу пластичності, може бути прогнозований за результатами роботи кафедральної комп'ютерної програми П-2.

Вихідні дані для роботи програми П-2 приймаємо такими:

R – половина паспортного ходу автомата. $R = 70$ мм;

Δh – абсолютна деформація. $\Delta h = 2,12$ мм;

λ - коефіцієнт шатуна. $\lambda = 0,11$ [13];

n – кількість ходів автомата у хвилину. $n = 190$ ход./хв.;

$\psi_{ш}$ – відносне зменшення площі перерізу матеріалу в момент утворення шийки. $\psi_{ш} = 55$ %.

Результати розрахунку:

- степінь використання ресурсу пластичності $\varphi = 0,16$;
- степінь деформації зсуву $L = 0,22$.

Як бачимо, цілісність металу заготовки буде збережено. Зміни у конфігурації виробу та проектування переходів механічної обробки деталі не передбачаємо.

5 ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ІНСТРУМЕНТУ

5.1 Розрахунок пуансонів та виштовхувачів

Незалежно від виду переходу, пуансони завжди працюють у знакозмінному циклі навантаження: при робочому ході у пуансоні виникають стискуючі напруження σ_c , які обумовлені і залежать від технологічного зусилля P_m , операції та сил тертя T_k, T_m відповідно на твірній робочій частини та на торці пуансону, а під час зворотного ходу – напруження розтягу σ_p , які викликані дією зусилля P_{em} витягування пуансона з деталі (для зворотного видавлювання або пружним вигином пуансона і пов'язаним з цим явищем тертям пуансона по матриці P_{mp} (для прямого видавлювання).

Крім того, внаслідок неточності центрування та напрямку, на бічній поверхні пуансона виникають перекидний момент M та з'являються викликані цим моментом напруження вигину σ_e .

В подібних умовах працюють також виштовхувачі оснащення для холодного штампування. Тому точне врахування усіх факторів має елике значення для правильного вибору матеріалу пуансонів та виштовхувачів, а також для призначення їх твердості робочих частин. Розрахунок пуансонів та виштовхувачів проводиться за допомогою кафедральних комп'ютерних програм П-3 та П-4. Обчислюються:

- зусилля тертя;
- плече моменту на пуансоні, що вигинає;
- зусилля та напруження, що виникають в інструменті під час прямого і зворотного ходу;
- фактичний запас міцності пуансона (виштовхувача);
- проводиться оптимізація отриманих результатів з метою забезпечення найліпшої стійкості інструмента.

Далі виконують проектування пуансона (виштовхувача) та проводять моніторинг стійкості інструмента.

Попередньо приймаємо матеріал пуансона першого переходу – сталь 6ХВФ [8], $\sigma_{-1} = 3000$ МПа, 61 HRCe, $l_k = 3,8$ мм. Решту даних беремо з попередніх розрахунків.

Дані для першого переходу:

$$R_n^2 = 30,25 \text{ мм};$$

$$\sigma_s = 640 \text{ МПа};$$

$$\delta = 0,15;$$

$$R_m = 4,44 \text{ мм};$$

$$l_k = 3,8 \text{ мм};$$

$$p = 1430,87 \text{ МПа};$$

$$P = 88571,81 \text{ Н};$$

$$\mu = 0,1.$$

Результати розрахунків:

$$T_m = 268,57 \text{ Н};$$

$$E = -7,64 \cdot 10^{-4} \text{ мм};$$

$$T_k = 2,14 \text{ Н}.$$

Дані для другого переходу:

$$R_n^2 = 72,25 \text{ мм};$$

$$\sigma_s = 760 \text{ МПа};$$

$$\delta = 0,15;$$

$$R_m = 4,44 \text{ мм};$$

$$l_k = 3,8 \text{ мм};$$

$$p = 1334,19 \text{ МПа};$$

$$P = 302681,01 \text{ Н};$$

$$\mu = 0,1.$$

Результати розрахунків:

$$T_m = 318,92 \text{ Н};$$

$$E = -7,64 \cdot 10^{-4} \text{ мм};$$

$$T_k = 4,49 \text{ Н.}$$

Дані для третього переходу:

$$R_n^2 = 89,39 \text{ мм};$$

$$\sigma_s = 805 \text{ МПа};$$

$$\delta = 0,15;$$

$$R_m = 4,44 \text{ мм};$$

$$l_k = 3,8 \text{ мм};$$

$$p = 1427,18 \text{ МПа};$$

$$P = 441489,37 \text{ Н};$$

$$\mu = 0,1.$$

Результати розрахунків:

$$T_m = 337,81 \text{ Н};$$

$$E = -7,64 \cdot 10^{-4} \text{ мм};$$

$$T_k = 5,27 \text{ Н.}$$

Визначаємо зусилля витягання $P_{вт}$, напруження стискування σ_c , розтягу σ_p та витягання σ_s , амплітудне напруження за цикл σ_a та коефіцієнт запасу міцності n .

Дані для першого переходу:

$$l_p = 24 \text{ мм};$$

$$l_k/2 = 1,9 \text{ мм};$$

$$T_k = 2,14 \text{ Н};$$

$$T_m = 268,57 \text{ Н};$$

$$\pi \cdot R_p^3 = 441,51 \text{ мм}^3;$$

$$P = 88571,81 \text{ Н};$$

$$E = -7,64 \cdot 10^{-4};$$

$$R_n = 5,5 \text{ мм};$$

$$R_m = 4,44 \text{ мм};$$

$$\Delta r = 0,08;$$

$$2\sigma_s = 1280 \text{ МПа};$$

$$\alpha = 1,08;$$

$$\beta = 0,87;$$

$$\sigma_{-1} = 3000 \text{ МПа}.$$

Результати розрахунків:

$$n = 362,74;$$

$$\sigma_e = -7,38 \text{ МПа};$$

$$\sigma_c = 932,01 \text{ МПа};$$

$$P_{em} = -1066,15 \text{ Н};$$

$$\sigma_p = -13,28 \text{ МПа};$$

$$\sigma_a = 6,64 \text{ МПа}.$$

Дані для другого переходу:

$$l_p = 24 \text{ мм};$$

$$l_k/2 = 1,9 \text{ мм};$$

$$T_k = 4,49 \text{ Н};$$

$$T_m = 318,92 \text{ Н};$$

$$\pi \cdot R_p^3 = 12861,44 \text{ мм}^3;$$

$$P = 302681,01 \text{ Н};$$

$$E = -7,64 \cdot 10^{-4};$$

$$R_n = 8,5 \text{ мм};$$

$$R_m = 4,44 \text{ мм};$$

$$\Delta r = 0,08;$$

$$2\sigma_s = 1520 \text{ МПа};$$

$$\alpha = 1,08;$$

$$\beta = 0,87;$$

$$\sigma_{-1} = 3000 \text{ МПа.}$$

Результати розрахунків:

$$n = 1250,85;$$

$$\sigma_e = 2,48 \text{ МПа};$$

$$\sigma_c = 1333,51 \text{ МПа};$$

$$P_{em} = -5838,28 \text{ Н};$$

$$\sigma_p = -3,85 \text{ МПа};$$

$$\sigma_a = 1,93 \text{ МПа.}$$

Дані для третього переходу:

$$l_p = 24 \text{ мм};$$

$$l_k/2 = 1,9 \text{ мм};$$

$$T_k = 5,27 \text{ Н};$$

$$T_m = 337,81 \text{ Н};$$

$$\pi \cdot R_p^3 = 12861,44 \text{ мм}^3;$$

$$P = 441489,37 \text{ Н};$$

$$E = -7,64 \cdot 10^{-4};$$

$$R_n = 9,45 \text{ мм};$$

$$R_m = 4,44 \text{ мм};$$

$$\Delta r = 0,08;$$

$$2\sigma_s = 1610 \text{ МПа};$$

$$\alpha = 1,08;$$

$$\beta = 0,87;$$

$$\sigma_{-1} = 3000 \text{ МПа.}$$

Результати розрахунків:

$$n = 823,99;$$

$$\sigma_e = 2,66 \text{ МПа};$$

$$\sigma_c = 1573,65 \text{ МПа};$$

$$P_{em} = -7969,31 \text{ Н};$$

$$\sigma_p = -5,85 \text{ МПа};$$

$$\sigma_a = 2,93 \text{ МПа}.$$

5.2 Розрахунок матриць

На матриці штампів для холодного об'ємного штампування діють зусилля, що розпирають, які обумовлені зусиллям технологічного переходу P_m . Якщо напруження розтягу σ_p , що виникають при цьому, перевищують значення, які дозволені механічними характеристиками матеріалу матриці, стійкість останньої буде незадовільною.

Попередньо приймаємо матеріал матриці Х6ВФ, $[\sigma_c] = 1200 \text{ МПа}$, $\mu = 0,1$.

За допомогою кафедральної комп'ютерної програми П-5 визначаємо максимальний тиск P_{max} на бічну поверхню матриці при холодному об'ємному штампуванні.

Дані для першого переходу:

$$R_m = 4,44 \text{ мм};$$

$$\mu = 0,1;$$

$$\sqrt{\frac{R_m \cdot (R_m + 2\mu)}{1 + 2\mu \cdot R_m}} = 49,59;$$

$$\sigma_s = 640 \text{ МПа};$$

$$[\sigma_c] = 1200 \text{ МПа}.$$

Отримані результати:

$$P_{max} = 479,20 \text{ МПа};$$

$$[\sigma_c] = 720,79 \text{ МПа}.$$

Дані для другого переходу:

$$R_m = 4,44 \text{ мм};$$

$$\mu = 0,1;$$

$$\sqrt{\frac{R_m \cdot (R_m + 2\mu)}{1 + 2\mu \cdot R_m}} = 49,59;$$

$$\sigma_s = 760 \text{ МПа};$$

$$[\sigma_c] = 1200 \text{ МПа}.$$

Отримані результати:

$$P_{max} = 344,05 \text{ МПа};$$

$$[\sigma_c] = 855,95 \text{ МПа}.$$

Дані для третього переходу:

$$R_m = 4,44 \text{ мм};$$

$$\mu = 0,1;$$

$$\sqrt{\frac{R_m \cdot (R_m + 2\mu)}{1 + 2\mu \cdot R_m}} = 49,59;$$

$$\sigma_s = 805 \text{ МПа};$$

$$[\sigma_c] = 1200 \text{ МПа}.$$

Отримані результати:

$$P_{max} = 293,37 \text{ МПа};$$

$$[\sigma_c] = 906,62 \text{ МПа}.$$

5.3 Моніторинг стійкості робочих деталей

Оскільки найбільше навантаження припадає на третій (останній) перехід, то визначаємо [9, 10] величину напруження саме для цього пуансона за критерієм Ірвіна k_{1c} :

$$k_{1c} = 1377 - 10,34 \cdot \sigma_m - 31,505 \cdot \psi + 0,271 \cdot \sigma_m \cdot \psi, \quad (5.1)$$

де σ_m та ψ - межа плинності (кг/мм^2) та пластичність (%) сталі після термічної обробки на визначену твердість. Значення межі плинності σ_m в

залежності від твердості HRC_e наводяться у роботі [8]. Там же наводиться пластичність ψ деяких видів інструментальних сталей у загартованому стані.

Тоді:

$$k_{1e} = 1377 - 10,34 \cdot 141 - 31,505 \cdot 40 + 0,271 \cdot 141 \cdot 40 = 187,3.$$

Очікувана кількість циклів опору зародженню та розповсюдженню тріщини становить, відповідно:

$$N_s = -10530 + 103,1\sigma_m + 16,4\psi + 4,2T_n,$$

$$N_p = 4998 - 4,9\sigma_m + 42,2\psi + 8,3T_n,$$

де T_n – теплостійкість інструментальних матеріалів [4].

Тоді:

$$N_s = -10530 + 103,1 \cdot 141 + 16,4 \cdot 40 + 4,2 \cdot 140 = 5251,1 \text{ циклів},$$

$$N_p = 4998 - 4,9 \cdot 141 + 42,2 \cdot 40 + 8,3 \cdot 140 = 7157,1 \text{ циклів}.$$

Фактичні умови проведення процесу холодного об'ємного штампування можна оцінювати значенням критичної амплітудної деформації

$$\sigma_{kp} = \frac{\Psi}{2N_p^\gamma}, \quad (5.2)$$

де γ - коефіцієнт, що залежить від інтенсивності формозміни заготовки у штампі. $\gamma = 0,30 \dots 0,5$.

Тоді:

$$\sigma_{kp} = \frac{40}{2 \cdot 5251,1^{0,5}} = 0,276.$$

Значення роботи тріщиноутворення

$$A_y = \sigma_{kp} \cdot \sigma_m \cdot \sin \frac{\pi \cdot n \cdot \tau}{30}, \quad (5.3)$$

де: n – число робочих ходів обладнання у хвилину. $n = 130$ ход./хв.;

τ - тривалість елементарного циклу холодного об'ємного штампування [8]

$$\tau = \frac{60}{P_x \cdot n}, \quad (5.4)$$

де $P_x = 0,95$ – коефіцієнт використання ходів штампувального обладнання.

Тоді:

$$\tau = \frac{60}{0,95 \cdot 130} = 0,48 \text{ с};$$

$$A_y = 0,276 \cdot 141 \cdot \sin \frac{195,94}{30} = 4,28 \text{ кг} \cdot \text{мм} \cdot \text{с}.$$

Енергія, яка необхідна для подальшого розповсюдження тріщини у робочій деталі оснащення, розраховується за допомогою другого критерію Ірвіна G_{1c} :

$$G_{1c} = \frac{k_{1c}^2 \cdot (1 - \eta^2)}{E}, \quad (5.5)$$

Тоді:

$$G_{1c} = \frac{117,51^2 \cdot (1 - 0,25^2)}{2100} = 6,16 \text{ кг} \cdot \text{мм} \cdot \text{с}.$$

Прогнозовану стійкість робочої деталі оснащення можна визначити за формулою:

$$C_m = N_3 \cdot k_n, \quad (5.6)$$

де k_n – коефіцієнт кореляції, що залежить від механічних властивостей матеріалу робочої деталі оснащення. $k_n = 8,8$.

Тоді:

$$C_m = 5251,1 \cdot 8,8 = 46209 \text{ шт.}$$

Оптимальна товщина шару мастила, при якій не спостерігається схоплення інструмента з матеріалом деталі визначається за формулою:

$$h \geq \frac{B \cdot (12v\eta - T \cdot B \cdot \rho)}{6\eta v}, \quad (5.7)$$

де $B = r_0 - R_m = 5,5 - 4,44 = 1,06$;

r_0 – радіус вихідної заготовки;

$$T = \frac{R_m}{h} = \frac{4,44}{5,83} = 0,76;$$

h – висота деформованого виробу. $h = 5,83$ мм;

η – в'язкість мастила;

v – швидкість деформування

$$v = \frac{h}{t} = \frac{2,8}{0,48} = 5,8 \text{ мм/с.}$$

Тоді:

$$h \geq \frac{1,06 \cdot (12 \cdot 5,8 \cdot 60 - 0,76 \cdot 1,06 \cdot 1427,18)}{6 \cdot 60 \cdot 5,8} = 1,54.$$

Кількість циклів, за які буде сформовано оксидну плівку:

$$K = \frac{z^2 \rho^2}{A \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \cdot \tau}, \quad (5.8)$$

де A – стала Арреніуса;

Q – енергія активації;

T – температура на поверхні контакту, К;

R – універсальна газова стала;

ρ – густина оксидної плівки.

Тоді:

$$K = \frac{1,55^2 \cdot 5,2^2}{181,48 \exp\left(-\frac{3000}{8,31 \cdot 413}\right) \cdot 0,48} = 0,64.$$

Оскільки $K \ll N_3$, то процес окислювального зношення пуансона буде відбуватися практично з початку.

Об'ємне зношування інструмента в таких умовах може бути визначене за формулою:

$$V = (1 - \psi) \cdot \frac{P_m \cdot L_{mp}}{H \cdot K}, \quad (5.9)$$

де: $L_{mp} = 2,8$ мм – шлях тертя під час одиночного циклу деформування;

$H = 880$ В – твердість за Віккерсом матеріалу деталі оснащення.

Тоді:

$$V = (1 - 0,40) \cdot \frac{441489,37 \cdot 2,8}{880 \cdot 0,31} = 2718,85 \text{ мм}^3.$$

Таким чином, сумарне зношування пуансона за цикл його довговічності складає:

$$\Delta = \frac{V}{C_m} = \frac{2718,85}{46209,68} = 0,06 \text{ мм}^3$$

6 РОЗРОБКА СХЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОЧОГО МІСЦЯ ОПЕРАТОРА ХВА

Типова схема організації робочого місця оператора ХВА для виготовлення деталі «Болт М10×30» наведена на рис. 6.1.

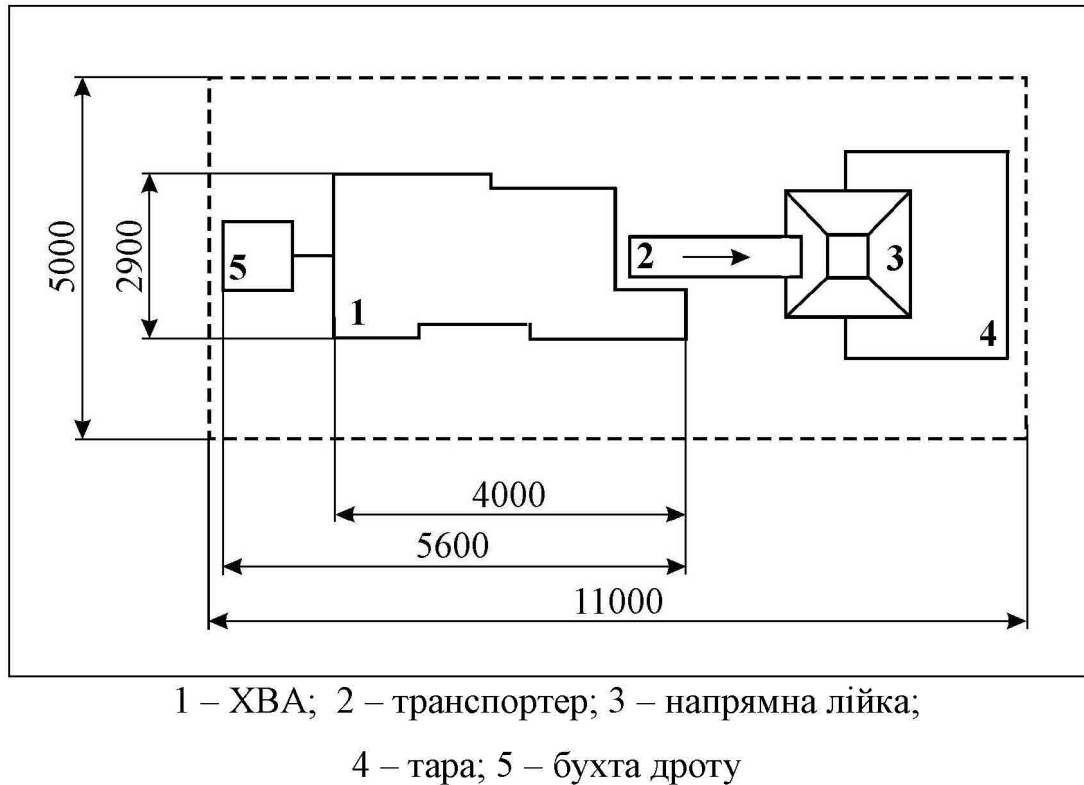


Рисунок 6.1 – Схема організації робочого місця оператора ХВА типу А1920 для виготовлення деталі «Болт М10×30»

ВИСНОВКИ

1. Виконано конструкторсько-технологічний аналіз деталі Болт М10×30, запропоновано прогресивну технологію його виготовлення способом холодного об'ємного штампування та розраховано розміри вихідної заготовки.
2. Запропоновано виготовляти деталь Болт М10×30 на багато-позиційному ХВА та розраховано технологічні переходи штампування.
3. Розраховано технологічні зусилля за операціями штампування та вибрано обладнання.
4. Виконано моніторинг плинної деформованості матеріалу.
5. Спроектовано та розраховано інструмент та виконано моніторинг його стійкості.
5. Розроблена схема організації робочого місця оператора ХВА.
6. Виконано складальний кресленик на оснащення для холодного об'ємного штампування деталі Болт М10×30 на ХВА та робочі кресленики на його деталі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ковка и штамповка. Справочник в 4-х т. / Под ред.. Е. И. Семёнова – Т. 1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка – М.: Машиностроение, 1985. – 567 с.
2. Анурьев В. П. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т.1. – М.: Машиностроение, 1980. – 723 с.
3. Холодная объёмная штамповка: Справочник / Под ред. Г. А. Навроцкого . – М.: Машиностроение, 1973. – 496 с.
4. Методичні вказівки по курсу «Холодне об'ємне штампування» для студентів спеціальності 8.090206 «Обладнання для обробки металів тиском» / Укл. Б. Б. Кришкін. – Кіровоград: КНТУ, 2006. – 82 с.
5. Ковка и штамповка. Справочник в 4-х т. / Под ред.. Е. И. Семёнова – Т. 3. – Холодная объёмная штамповка. – М.: Машиностроение, 1987. – 384 с.
6. Анурьев В. П. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т.1. – М.: Машиностроение, 1980. – 723 с.
7. Навроцкий Г. А., Кроха В. А. О величинах деформации металла при высадке стержневых изделий на холодновысадочных автоматах. – Кузнечно-штамповачное производство, 1977. – № 5.
8. Кришкін Б. Б. Холодне об'ємне штампування. Навчальний посібник. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – 120 с.
9. Auslegung der Werkzeuge und Entwicklung der Formteile für MehrmatrizenKaltumformer. National Machinery Co. Tiffin, Ohio, 1996. – 320 s.
10. Бунатян Г.В., Скуднов В.А., Хыбемяги А.И. Холодное выдавливание деталей формующей технологической оснастки. – М.: Машиностроение, 1998. – 182 с.: ил.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

**Специфікація «Комплект інструменту для холодного штампування
деталі Болт М10х30»**

А.1 Перший аркуш специфікації на складальний кресленик

Поз	Позначка	Найменування	Кіл	Посилання	Матеріал
		<u>Документація</u>			
	КРБ.ПМ.25.20.12.10.00	Складальний кресленик	1		
		<u>Деталі</u>			
1	КРБ.ПМ.25.20.12.10.01	Ніж	1		
2	КРБ.ПМ.25.20.12.10.02	Вставка 1	2		
3	КРБ.ПМ.25.20.12.10.03	Пуансон 3	1		
4	КРБ.ПМ.25.20.12.10.04	Втулка	3		
5	КРБ.ПМ.25.20.12.10.05	Чоп	3		
6	КРБ.ПМ.25.20.12.10.06	Вставка 2	3		
7	КРБ.ПМ.25.20.12.10.07	Корпус	3		
8	КРБ.ПМ.25.20.12.10.08	Пуансон 1	1		
9	КРБ.ПМ.25.20.12.10.09	Пуансон 2	1		
10	КРБ.ПМ.25.20.12.10.10	Матрицетримач	1		
11	КРБ.ПМ.25.20.12.10.11	Прокладка	3		
12	КРБ.ПМ.25.20.12.10.12	Втулка	3		
13	КРБ.ПМ.25.20.12.10.13	Труба	1		
14	КРБ.ПМ.25.20.12.10.14	Гайка	1		
15	КРБ.ПМ.25.20.12.10.15	Штапхач	3		
16	КРБ.ПМ.25.20.12.10.16	Виштапхувач	3		
17	КРБ.ПМ.25.20.12.10.17	Матриця	2		
18	КРБ.ПМ.25.20.12.10.18	Підкладка	3		
19	КРБ.ПМ.25.20.12.10.19	Гайка	1		
20	КРБ.ПМ.25.20.12.10.20	Стакан	3		
21	КРБ.ПМ.25.20.12.10.21	Матрицетримач	1		
22	КРБ.ПМ.25.20.12.10.22	Матриця 3	1		
23	КРБ.ПМ.25.20.12.10.23	Матриця 2	1		
Відповідальна організація Кафедра ММР		Технічне узгодження Андрій Гречка	Із зразком документа Віталій ТКАЧЕНКО	Документ затверджено Олег СІСА	Масштаб 1:1
Власник документа Центральноукраїнський національний технічний університет		Вид документа Специфікація		Статус документа Навчальний	
		Назва Комплект інструменту для холодного штампування деталі Болт М10х30		Ідентифікаційне КРБ.ПМ.25.20.12.10.00	
				Ід. змін А	Дата видання 2025-23-06
				Мова uk	Аркуш 1/2

