

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Інжинірингу машинобудівних технологій

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технології виготовлення корпусу 738197.070 з
дослідженням процесу завальцювання кульок в опорних отворах

Виконав: студент VI курсу, групи МПм-61
спеціальності 131 “Прикладна механіка”

(шифр і назва спеціальності)

Кубах В.-Н.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Пилипець М.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Ткаченко І.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Окіпний І.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи: “Розроблення технології виготовлення корпусу 738197.070 з дослідженням процесу завальцьовування кульок в опорних отворах”.

У кваліфікаційній роботі розроблено інструмент для завальцьовування кульок у циліндричних лунках плоских поверхонь, представлено його конструкцію. Проведено дослідження методом кінцевих елементів напружено-деформованого стану деталей інструмента для завальцьовування кульок при дії зусилля деформування тонкостінного циліндричного елемента заготовки в напрямку до поверхні кульки. Здійснено: вибір матеріалів конічних роликів для завальцьовування кульки, осі, на якій обертаються ролики, корпусу інструмента; накладання обмежень на хвостову конічну частину корпусу, що закріплюється у шпинделі верстата та застосування силового навантаження на конічну частину кожного ролика в місці контакту ролика із циліндричною поверхнею, що піддається деформуванню; генерування кінцево-елементної сітки моделі; виконання симуляції навантаження на конструктивні елементи інструмента.

В результаті проведених розрахунків програмним забезпеченням одержали графічне відображення з поперечним січенням величин напружень та деформацій на конічних роликах для завальцьовування кульки, осі, на якій обертаються ролики, корпусу інструмента, а також місць, що мають найменший запас міцності.

Представлено результати експериментальних досліджень осьової сили завальцьовування кульок у циліндричних тонкостінних лунках від кута деформування, товщини стінки тонкостінної циліндричної заготовки та зовнішнього діаметра тонкостінної циліндричної заготовки.

Вдосконалено технологічний процес виготовлення корпусу 738197.070.

ЗМІСТ

Вступ	
1 Аналітична частина	
1.1. Аналіз стану питання.....	
1.2. Висновки та постановка завдань.....	
2 Науково-дослідна частина	
2.1. Дослідження параметрів процесу завальцювання кульок у циліндричних лунках плоских поверхонь.....	
2.2. Результати експериментальних досліджень осьової сили завальцювання кульок у циліндричних тонкостінних лунках.....	
2.3. Висновки.....	
3 Технологічно-конструкторська частина	
3.1. Службове призначення деталі.....	
3.2. Вибір способу одержання заготовки.....	
3.3. Формування технологічного процесу	
3.4. Визначення припусків на оброблення.....	
3.5. Визначення режимів різання.....	
3.6. Розрахунок пристосування.....	
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	
Висновки.....	
Перелік посилань.....	
Додатки	

ВСТУП

Кулькові опори використовуються у різних галузях промисловості та транспорту для переміщення важких та великогабаритних вантажів. Зокрема, їх застосовують у різноманітному устаткуванні, монтажних столах, виробничих лініях, автоматизованих складах. Устаткування, конвеєри для переміщення деталей та матеріалів із застосуванням кулькових опор дозволяють легко та точно переміщувати вантажі на одній площині у будь-яку точку.

Кулькові опори можуть виготовлятися як окремі складальні одиниці, так і безпосередньо на плоских поверхнях деталей машин методом завальцьовування кульки у попередньо сформованому циліндрі із центральним отвором та тонкою стінкою.

В основі процесу завальцьовування кульок є механізм оброблення трубчастих тонкостінних заготовок обтисканням, що полягає у зменшенні діаметра торцевої частини тонкостінної труби, застосовуючи створення зовнішнього тиску до поверхні труби жорстким інструментом.

Основними недоліками існуючих пристроїв для завальцьовування кульок є значні витрати енергії на тертя між твердосплавними пластинами та матеріалом стінки, що піддається деформуванню.

Тому створення нових інструментів для завальцьовування кульок у циліндричних тонкостінних лунках та дослідження параметрів цього процесу є актуальним завданням.

Актуальним є також розроблення технологічного процесу виготовлення корпусу 738197.070.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Аналіз стану питання

Кулькові опори (рис. 1.1) досить часто використовуються у різних галузях промисловості та транспорту для переміщення важких та великогабаритних вантажів. Зокрема, їх застосовують у різноманітному устаткуванні, монтажних столах, виробничих лініях, автоматизованих складах [12]. Устаткування, конвеєри для переміщення деталей та матеріалів із застосуванням кулькових опор дозволяють легко та точно переміщувати вантажі на одній площині у будь-яку точку.



Рисунок 1.1 – Кулькові опори компанії "Вікторія" [15]

Основним конструктивним елементом кулькової опори є несуча кулька, розташована у закритому корпусі з можливістю обертання. Для зменшення коефіцієнта тертя між корпусом та кулькою розміщують додаткові кульки меншого розміру. Корпус виготовляється у вигляді півсфери із пластичних матеріалів та піддається додатковому зміцненню методами поверхнево-пластичного деформування або термічної обробки. Застосування кулькових опор дозволяє значно зменшити силу тертя при переміщенні вантажів за рахунок зміни

умов тертя із ковзання на кочення. На основі набору кулькових опор виготовляють різноманітні направляючі елементи та площини (рис. 1.2). Це дозволяє переміщувати важкі вантажі із мінімальним зусиллям. Наприклад, для початкового зміщення вантажу на кулькових опорах необхідно прикласти силу, що дорівнює 5% від ваги вантажу, а для подальшого переміщення вантажу прикладена сила дорівнює 2-3% від ваги вантажу [12]. Виробники вказаних опор для кульок використовують матеріали ШХ15, нержавіюча сталь, зносостійкі полімери та кераміку. Температура в зоні використання кулькових опор може досягати від 70 °С до 315 °С.



Рисунок 1.2 – Направляючі елементи із кульковими опорами [18]

Кулькові опори можуть виготовлятись як окремі складальні одиниці, так і безпосередньо на плоских поверхнях деталей машин методом завальцювання кульки у попередньо сформованому циліндрі із центральним отвором та тонкою стінкою.

У статті [24] представлено конструкцію пристрою для завальцювання кульок на плоских поверхнях направляючих елементів транспортних механізмів. Пристрій зображено на рис. 1.3. Пристрій може використовуватись для формування канавки 12 навколо отвору із кулькою а також для деформування тонкої стінки утвореного циліндра у напрямку до кульки 8. Основними

робочими елементами пристрою є твердосплавні пластини 13. При цьому утримування кульки виконується притискачем 6 із пружиною стиснення 4. Основним недоліком пристрою є значні витрати енергії на тертя між твердосплавними пластинами та матеріалом стінки, що піддається деформуванню.

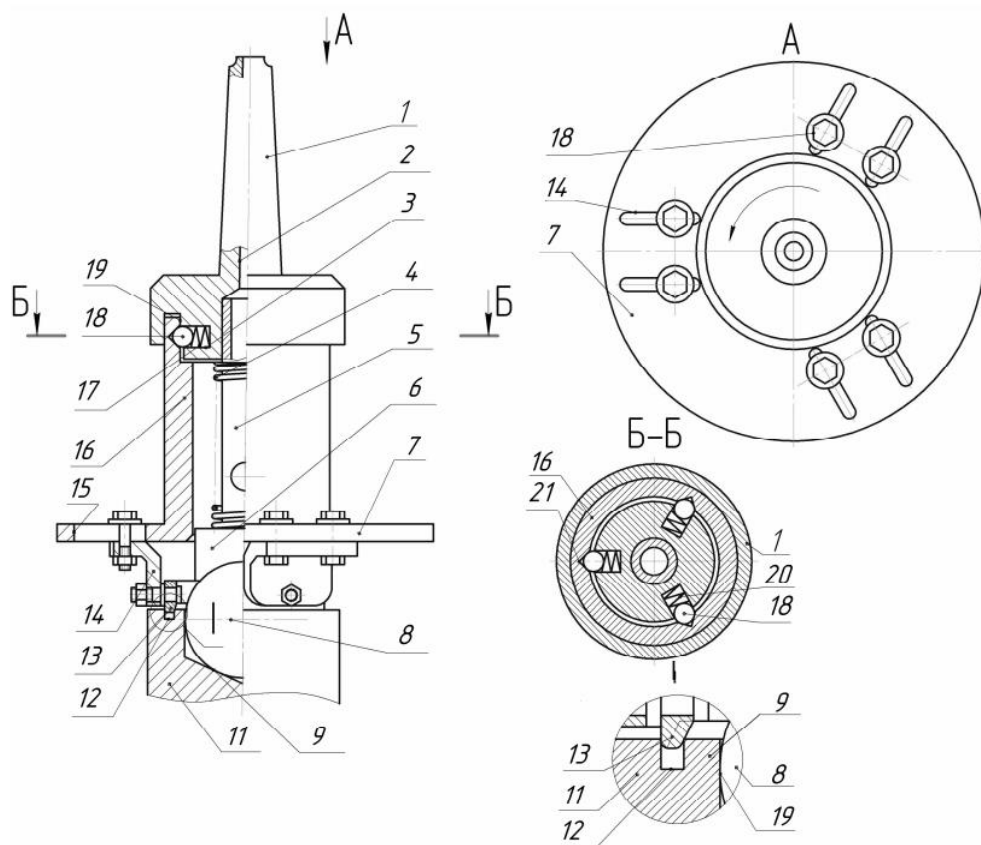


Рисунок 1.3 – Пристрій для завальцювання кульок на плоских поверхнях направляючих елементів [24]

У статті [25] представлено пристрій (рис. 1.4) із запобіжним механізмом для проточування канавок та завальцювання кульок на плоских поверхнях.

Основними робочими елементами є ріжучі ножі 9 із твердосплавними пластинами. Принцип роботи пристрою схожий до пристрою рис. 1.3. Може використовуватись на вертикально-свердильних, вертикально-фрезерних та розточних верстатах.

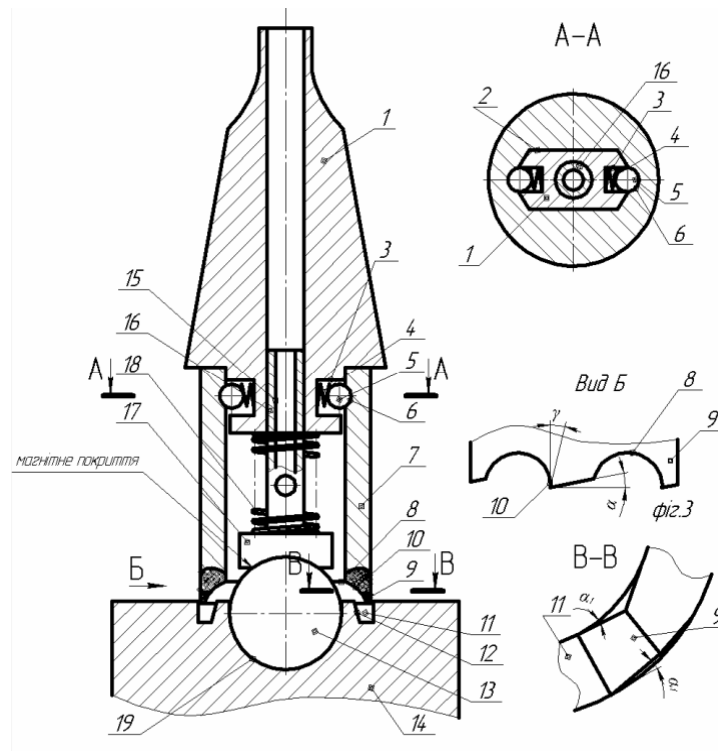


Рисунок 1.4 – Пристрій для завальцювання кульок [25]

Для розрахунку силових параметрів процесу завальцювання кульки у лунці в роботі [24] розроблено розрахункову схему, що представлена на рис. 1.5.

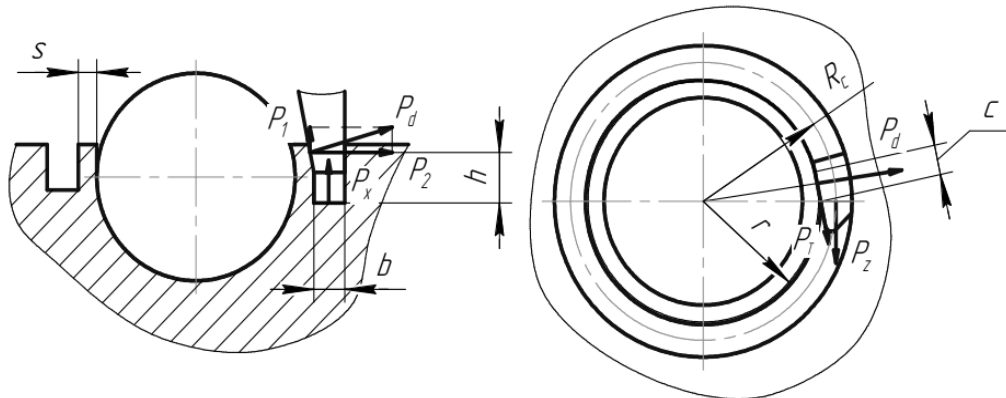


Рисунок 1.5 – Розрахункова схема для визначення силових параметрів процесу завальцювання кульки [24]

Основними параметрами процесу завальцювання кульки є осьова сила подачі інструменту P_o та крутний момент M деформування стінки в напрямку кульки.

Осьова сила подачі інструменту визначається за формулою [24]:

$$P_0 = n(P_1 + P_x), \quad (1.1)$$

де P_1 – вертикальна складова сили завльцьовування кульки;

P_x – проекція сили різання на вертикальну вісь;

n – кількість робочих елементів інструмента.

Вертикальна складова сили завльцьовування кульки [24]:

$$P_1 = P_d \cdot \sin \alpha, \quad (1.2)$$

де P_d – сила, що витрачається на радіальну деформацію стінки;

α – кут нахилу робочої частини інструменту.

Сила, що витрачається на радіальну деформацію стінки [24]:

$$P_d = \frac{c \cdot s^2 \cdot \sigma_s \cdot k_1}{4 \cdot h}, \quad (1.3)$$

де c – ширина деформованої частини тонкостінного циліндра;

s – товщина стінки циліндра;

σ_s – границя текучості матеріалу напрямної;

k_1 – коефіцієнт зміцнення матеріалу, $k_1=1,2\dots1,3$ [24];

h – висота циліндра.

Сумарна осьова сила подачі інструменту [24]:

$$P_0 = n \cdot \left(P_x + \frac{c \cdot s^2 \cdot \sigma_s \cdot k_1 \cdot \sin \alpha}{4 \cdot h} \right). \quad (1.4)$$

Крутний момент деформування стінки в напрямку кульки [24]:

$$M = n(P_z \cdot R_c + P_T \cdot r), \quad (1.5)$$

де P_z – складова сили різання;

R_c – середній радіус канавки;

P_T – сила тертя між інструментом та канавкою;

r – внутрішній радіус канавки.

Сила тертя між інструментом та канавкою [24]:

$$P_T = \mu \cdot P_d, \quad (1.6)$$

де μ - коефіцієнт тертя між інструментом та канавкою.

Крутний момент деформування стінки в напрямку кульки [24]:

$$M = n \cdot \left(P_z \cdot R_c + \frac{\mu \cdot c \cdot s^2 \cdot \sigma_s \cdot k_1}{4 \cdot h} \right). \quad (1.7)$$

Складові сил різання визначено на основі даних експериментальних досліджень [24]:

$$P_z = C_p \cdot S^{y_z} \cdot b^{x_z} \cdot V^{n_z}; \quad (1.8)$$

$$P_x = C_{px} \cdot S^{y_x} \cdot b^{x_x} \cdot V^{n_x}.$$

У роботі [24] побудовано графіки залежності сумарної осьової сили подачі інструменту (рис. 1.6) та крутного моменту деформування стінки в напрямку кульки (рис. 1.7) від товщини стінки.

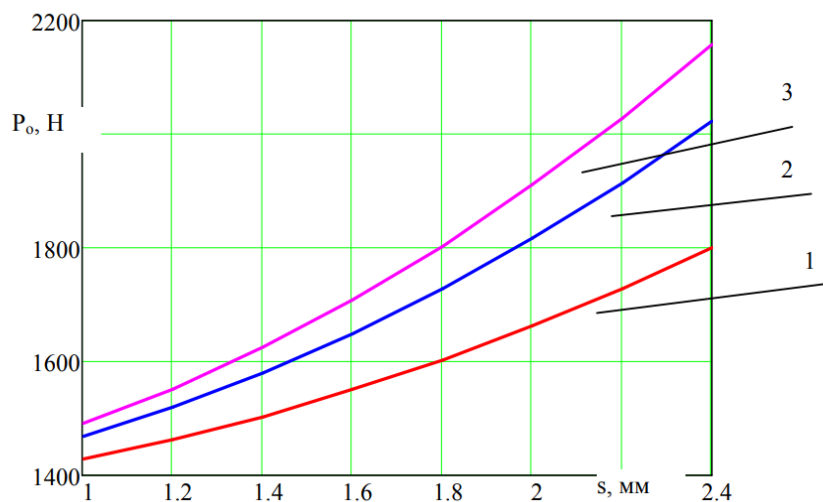


Рисунок 1.6 – Графіки залежності сумарної осьової сили подачі інструменту від товщини стінки: 1) сталь 08; 2) сталь 30; 3) сталь 45 [24]

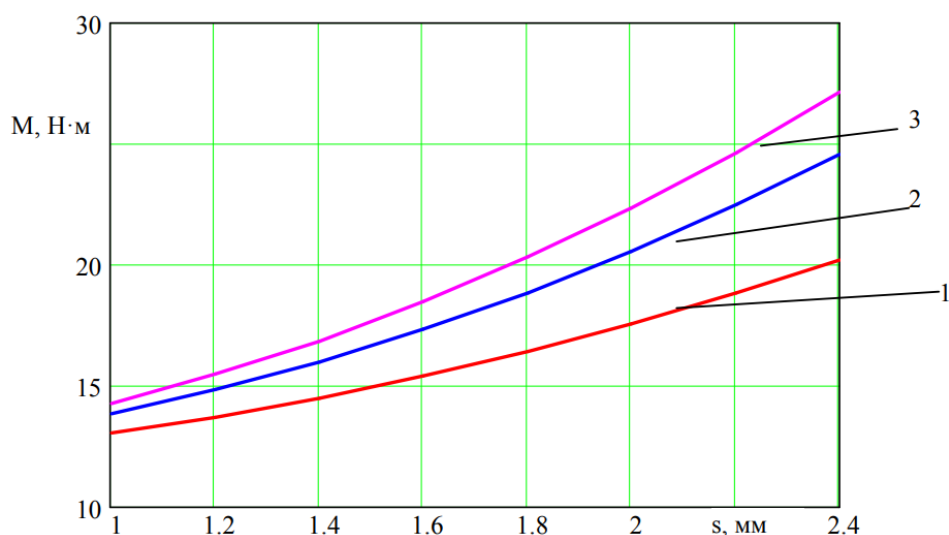


Рисунок 1.7 – Графіки залежності крутного моменту деформування стінки в напрямку кульки від товщини стінки: 1) сталь 08; 2) сталь 30; 3) сталь 45 [24]

При збільшенні товщини стінки циліндра відбувається значне зростання сумарної осової сили подачі інструменту та крутного моменту деформування стінки в напрямку кульки.

В основі процесу завальцювання кульок є механізм оброблення трубчастих тонкостінних заготовок обтисканням, що полягає у зменшенні діаметра торцевої частини тонкостінної труби, застосовуючи створення зовнішнього тиску до поверхні труби жорстким інструментом. Такий процес використовується для формування трубчастих деталей машин, конструктивних елементів та, зокрема, гільз патронів. Виконання процесу виконується на пресах або методами обкочування. На пресах [26] трубчаста заготовка подається у симетричну конусну матрицю, при цьому зменшується діаметр труби та формується конусна поверхня. Хоча цей робочий процес є простим та високопродуктивним, проте має обмеження до можливостей формування через виникнення дефектів на заготовках при значних зусиллях деформації. При застосуванні методу обкочування ролик інструменту контактує із обертовою трубчастою заготовкою, при цьому інструмент виконує поперечне та поздовжнє переміщення [27]. Границі параметрів деформування трубчастої заготовки обтисканням методом обкочування є вищими ніж при пресуванні, проте продуктивність є нижчою через малу деформацію заготовки за один перехід

інструменту.

У роботі [28] запропоновано спосіб обтискання трубчастої заготовки поєднанням вище вказаних методів. В основі способу лежить виконання обтискання трубчастої заготовки обертовою переривчастою конусною матрицею, що дозволяє досягнути високі показники формоутворення та продуктивності без значного нагрівання заготовки та збереження її міцності [5, 6]. В результаті одержано високий коефіцієнт обтискання на рівні 49 %, проти 10 % при пресуванні. Проведено оптимізацію режимів обробки для заготовок із алюмінієвого сплаву А6063. Також розглянуто метод обтискання заготовки за два переходи для збільшення границі можливостей деформування матеріалу. На кожному із переходів використовуються дві матриці із різними площами контакту між матрицею та трубчастою заготовкою.

Схема процесу обтискання трубчастої заготовки обкочуванням конічною переривчастою матрицею представлена на рис. 1.8. При цьому методі трубчаста заготовка подається із зусиллям у переривчасту конічну матрицю, одночасно з цим виконується обертання заготовки або матриці. Робоча частина матриці складається з поверхонь контакту та вільних поверхонь від контакту із заготовкою. Вільні поверхні використовуються для зменшення осьового зусилля подачі заготовки, яке призводить до втрати стійкості заготовки а також до зменшення радіальних напружень, які призводять до утворення гофр на заготовці.

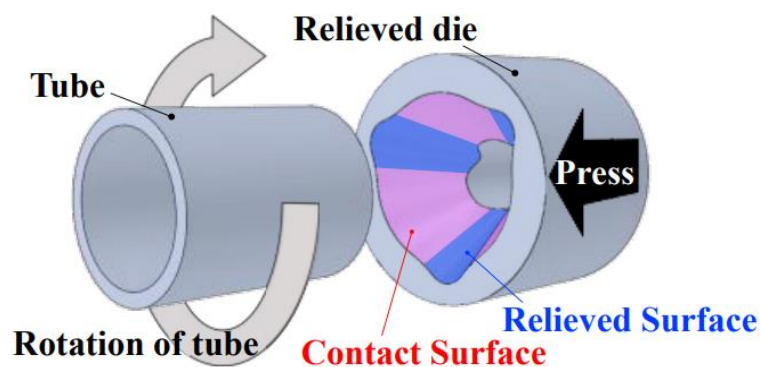


Рисунок 1.8 – Схема процесу обтискання трубчастої заготовки обкочуванням конічною переривчастою матрицею [28]

Дефекти, що виникають при обтисканні трубчастої заготовки обкочуванням зображено на рис. 1.9. При цьому виділено чотири основних видів дефектів: а) розриви; б) полігональні гофри; с) втрата стійкості; d) гофри.

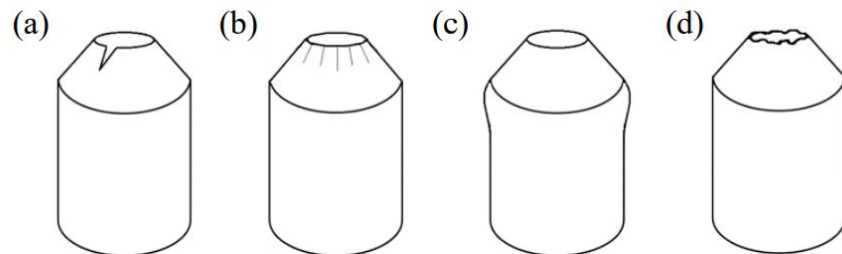


Рисунок 1.9 – Дефекти, що виникають при обтисканні трубчастої заготовки обкочуванням: а) розриви; б) полігональні гофри; с) втрата стійкості; d) гофри [28]

Тенденція до виникнення вказаних дефектів залежить від площі контакту між матрицею та заготовкою.

Також у роботі [28] представлено результати експериментальних досліджень та моделювання методом кінцевих елементів процесу обтискання трубчастої заготовки обкочуванням. На рис. 1.10 представлено відповідну експериментальну установку, основним елементом якої є токарний верстат.

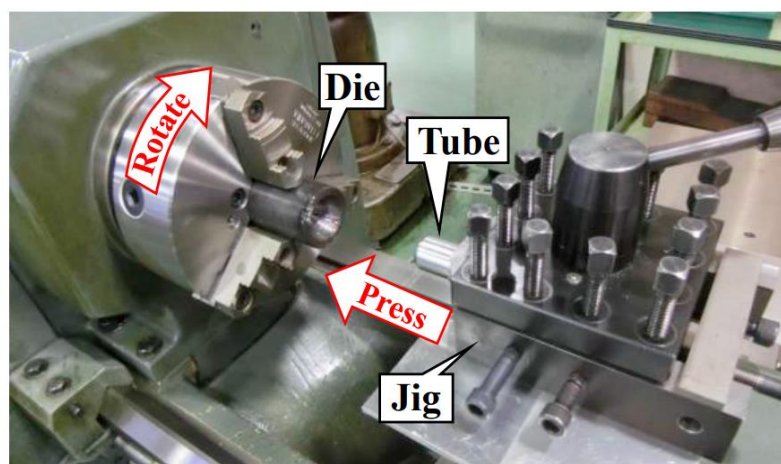


Рисунок 1.10 – Експериментальна установка процесу обтискання трубчастої заготовки обкочуванням [28]

Конічну матрицю встановлювали у патроні верстата, а заготовку

закріплювали на різцетримачі та подавали до обертової матриці з постійною швидкістю. Параметри матриці та заготовки зображено на рис. 1.11.

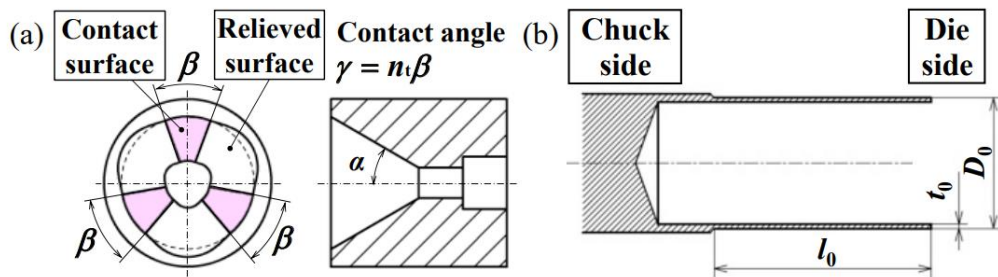


Рисунок 1.11 – Конструктивні параметри а) матриці та б) заготовки [28]

Визначено, що розриви та полігональні гофри виникають внаслідок циклічного розтягу матеріалу під вільними поверхнями матриці при малому куті контакту між матрицею та заготовкою. Втрата стійкості заготовки обумовлена зростанням осьової сили подачі заготовки при збільшенні довжини робочого ходу і при використанні матриці із великим кутом контакту між матрицею та заготовкою. Розриви та полігональні гофри виникають при куті контакту від 0° до 180° , втрата стійкості виникає при куті контакту від 240° до 360° .

1.2. Висновки та постановка завдань

В результаті аналізу літературних джерел встановлено, що кулькові опори використовуються у різних галузях промисловості та транспорту для переміщення важких та великогабаритних вантажів. Зокрема, їх застосовують у різноманітному устаткуванні, монтажних столах, виробничих лініях, автоматизованих складах. Устаткування, конвеєри для переміщення деталей та матеріалів із застосуванням кулькових опор дозволяють легко та точно переміщувати вантажі на одній площині у будь-яку точку.

Кулькові опори можуть виготовлятися як окремі складальні одиниці, так і безпосередньо на плоских поверхнях деталей машин методом завальцьовування кульки у попередньо сформованому циліндрі із центральним отвором та тонкою стінкою.

В основі процесу завальцювання кульок є механізм оброблення трубчастих тонкостінних заготовок обтисканням, що полягає у зменшенні діаметра торцевої частини тонкостінної труби, застосовуючи створення зовнішнього тиску до поверхні труби жорстким інструментом.

Основними недоліками існуючих пристроїв для завальцювання кульок є значні витрати енергії на тертя між твердосплавними пластинами та матеріалом стінки, що піддається деформуванню.

Тому створення нових інструментів для завальцювання кульок у циліндричних тонкостінних лунках та дослідження параметрів цього процесу є актуальним завданням.

У кваліфікаційній роботі потрібно вирішити такі завдання:

1. Розробити інструмент для завальцювання кульок у циліндричних лунках плоских поверхонь, представити його конструкцію.

2. Провести дослідження методом кінцевих елементів напружено-деформованого стану деталей інструмента для завальцювання кульок при дії зусилля деформування тонкостінного циліндричного елемента заготовки в напрямку до поверхні кульки.

3. Представити результати експериментальних досліджень осьової сили завальцювання кульок у циліндричних тонкостінних лунках від кута деформування, товщини стінки тонкостінної циліндричної заготовки та зовнішнього діаметра тонкостінної циліндричної заготовки.

4. Вдосконалити відомий технологічний процес виготовлення корпусу 738197.070.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1. Дослідження параметрів процесу завальцьовування кульок у циліндричних лунках плоских поверхонь

В межах кваліфікаційної роботи відповідно до поставлених завдань на основі попереднього літературно-патентного аналізу розроблено інструмент для завальцьовування кульок у циліндричних лунках плоских поверхонь. Інструмент зображено на рис. 2.1 та 2.2 та складається із корпусу 1 із хвостовою частиною з конусом Морзе для кріплення інструменту у шпинделі верстата.

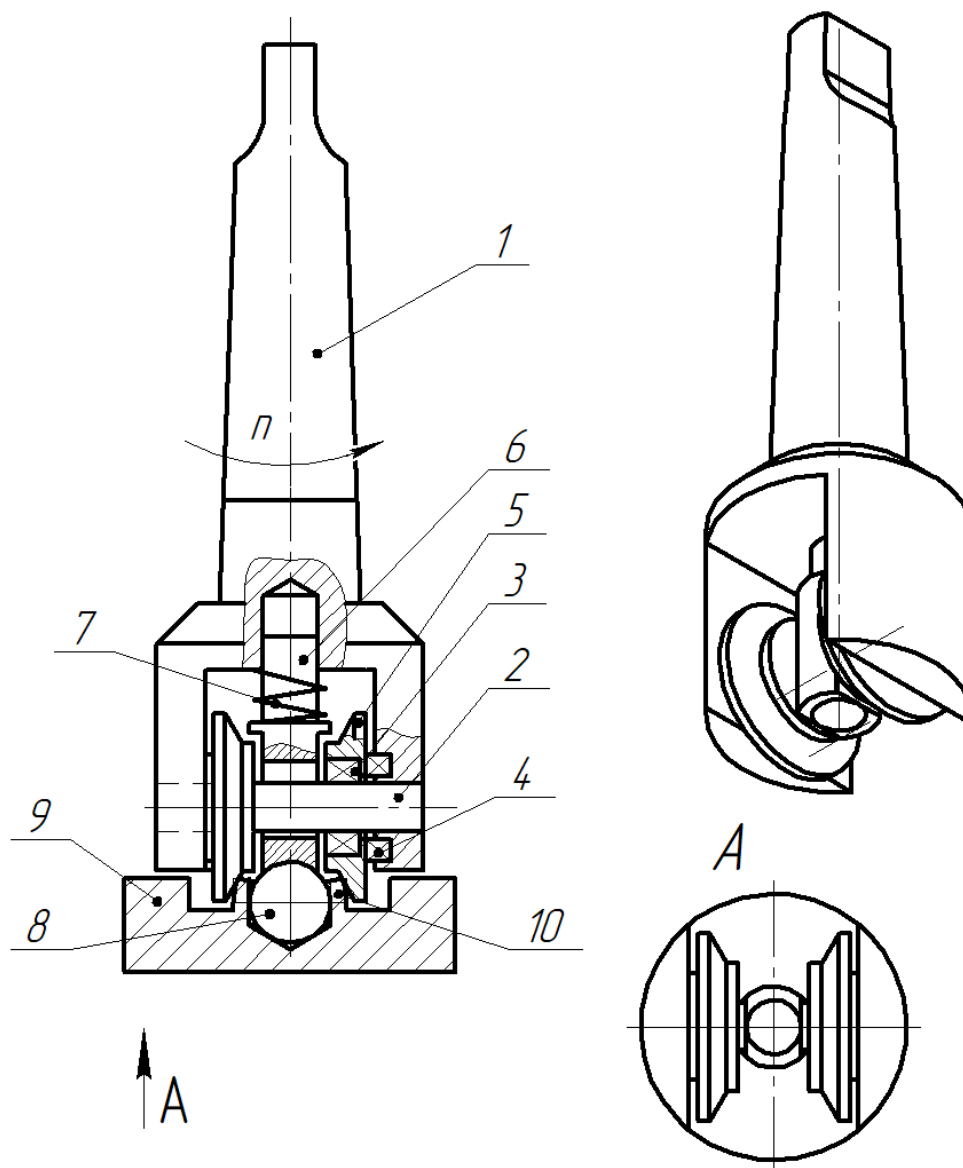


Рисунок 2.1 – Конструкція інструмента для завальцьовування кульок у циліндричних лунках плоских поверхонь

У нижній частині корпусу 1 встановлено перпендикулярно до осі обертання інструменту вісь 2, на якій розміщено два радіальних підшипника 3 із конічними роликами 5. Для протидії осьовим навантаженням під час завальцьовування кульок ролики 5 із торцевої сторони є у взаємодії із упорними підшипниками 4. У центральному отворі корпусу 1 з можливістю лінійного переміщення встановлено притискач 6, на торцевій частині якого сформовано сферичну внутрішню поверхню. На торцевій поверхні притискача розміщено пружину стиснення 7.

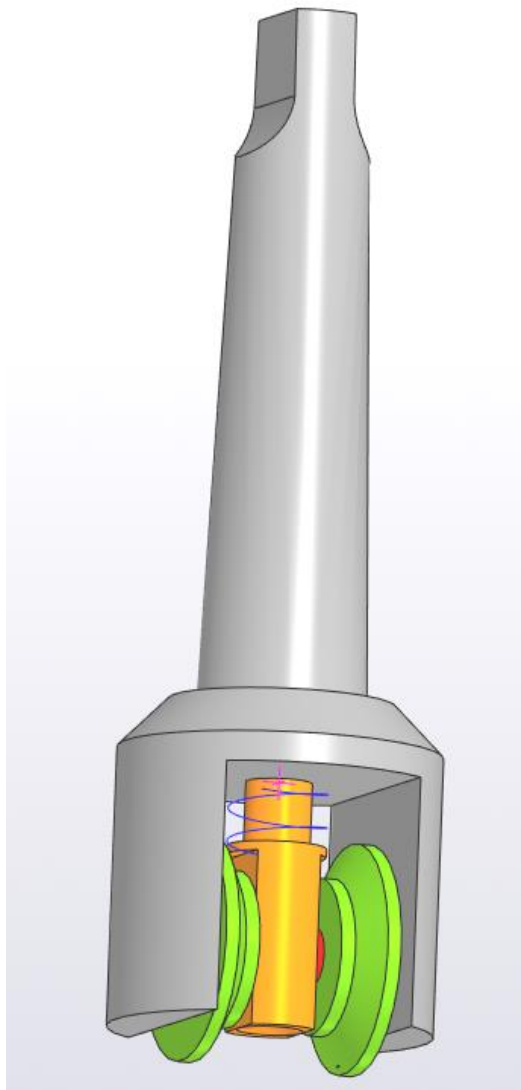


Рисунок 2.1 – 3D модель інструмента для завальцьовування кульок у
циліндричних лунках плоских поверхонь

Перед початком завальцьовування кульки 8 на плоскій поверхні заготовки 9

відбувається формування спеціальної лунки у вигляді циліндра 10 із тонкою стінкою методами свердління отвору та нарізання торцевої канавки. Після цього встановлюють кульку 8 у лунку, надають обертового руху інструменту із низькою частотою обертання n та подачею S до кульки 8. Відбувається контакт внутрішньої сферичної поверхні притискача 6 із поверхнею кульки, а також конічних частин роликів 5 із тонкою стінкою циліндра 10. Внаслідок цього відбувається пластична деформація тонкої стінки циліндра до контакту із поверхнею кульки, тобто виконується процес завальцювання. Після цього відводять інструмент від поверхні кульки. Внаслідок віпружинення деформованої тонкої стінки між кулькою та охоплюваною поверхнею зберігається зазор, що дозволяє кульці вільно обертатись в межах деформованого циліндра 10. Інструмент можна застосовувати на вертикально-свердлильному, вертикально-фрезерному, розточному верстатах.

Під час проектування інструмента для завальцювання кульок у отворах плоских поверхонь деталей машин здійснено його трьохмірне комп'ютерне моделювання із застосуванням прикладного програмного забезпечення (рис. 2.1). Це забезпечило виконання наступного етапу проектування - дослідження методом кінцевих елементів напружено-деформованого стану деталей інструмента для завальцювання кульок при дії зусилля деформування тонкостінного циліндричного елемента заготовки в напрямку до поверхні кульки.

Під час досліджень виконувалось проектування різних варіантів інструмента для завальцювання кульок на вертикально-свердлильному, розточному або вертикально-фрезерному верстаті з вибором оптимального варіанту. Після цього здійснено:

- 1) Вибір матеріалів конічних роликів для завальцювання кульки, осі, на якій обертаються ролики, корпуса інструмента;
- 2) Накладання обмежень на хвостову конічну частину корпуса, що закріплюється у шпинделі верстата та застосування силового навантаження на конічну частину кожного ролика в місці контакту ролика із циліндричною

поверхнею, що піддається деформуванню (рис. 2.3), силове навантаження складалось із двох сил: нормальної до конічної поверхні ролика, та тангенціальної, розміщеної під кутом 90 градусів відносно радіальної сили;

3) Генерування кінцево-елементної сітки моделі (рис. 2.4);

4) Проведення виконання симуляції навантаження на конструктивні елементи інструмента.

В результаті проведених розрахунків програмним забезпеченням одержали графічне відображення з поперечним січенням величин напружень (рис. 2.5) та деформацій (рис. 2.6) на конічних роликах для завальцьовування кульки, осі, на якій обертаються ролики, корпуса інструмента, а також місць, що мають найменший запас міцності (рис. 2.7).

На основі аналізу результатів моделювання рис. 2.5 та 2.6 визначено, що при зовнішніх нормальних до конічних поверхонь роликів навантаженні 200 Н та тангенціальному навантаженні 50 Н максимальні напруження виникають у роликах у місці контакту із циліндричною поверхнею, що піддається деформуванню (27 МПа), при основі роликів у місці контакту із упорними підшипником (23 МПа), а також на осі, на якій обертаються ролики (14 МПа).

Найбільші деформації виникають на зовнішній периферійній частині роликів зі сторони контакту із циліндричною поверхнею заготовки і становлять 0,003 мм, при цьому максимальна величина деформації корпуса інструмента становить 0,001 мм. Місцями, що мають найменший запас міцності є конічні ролики а також нижня частина осі, на якій обертаються ролики.

Одержані величини не перевищують границю текучості матеріалів конічних роликів для завальцьовування кульки, осі, на якій обертаються ролики, корпуса інструмента і не суттєво впливають на точність завальцьовування кульок.

При зміні зовнішньої нормальної до конічної поверхні ролика сили від 200 Н до 800 Н та відповідного залежного від нормальної сили тангенціального навантаження від 50 Н до 400 Н одержали графіки залежності максимальних напружень (рис. 2.8, рис. 2.9), що виникають у конічному ролику та на осі, на якій обертаються ролики.

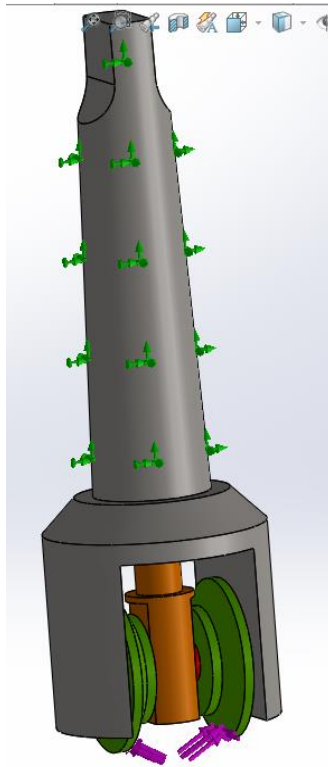


Рисунок 2.3 - Накладання обмежень на хвостову конічну частину корпусу та застосування силового навантаження на конічну частину кожного ролика

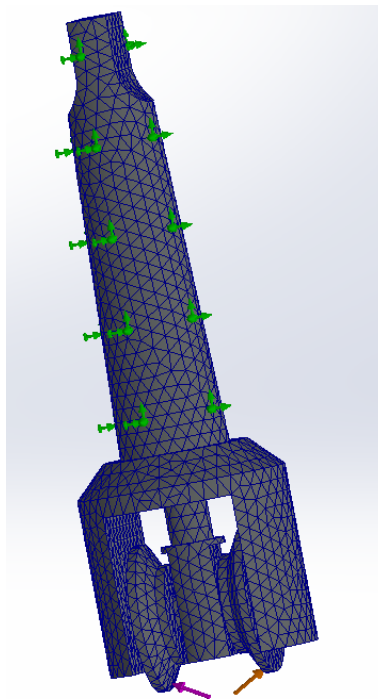
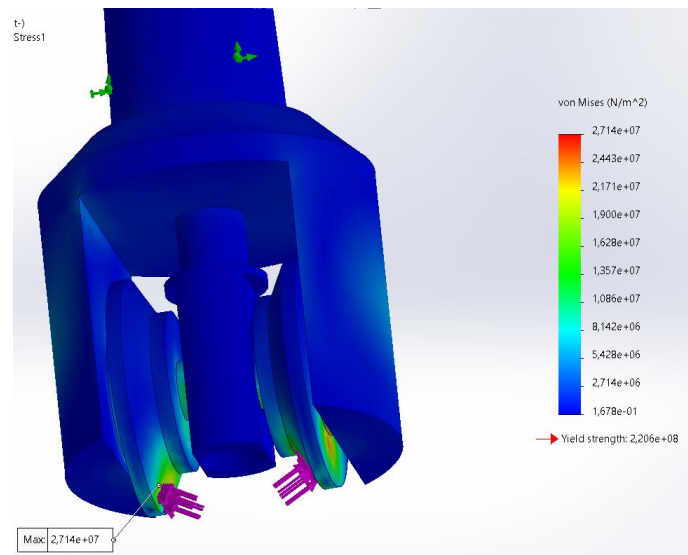
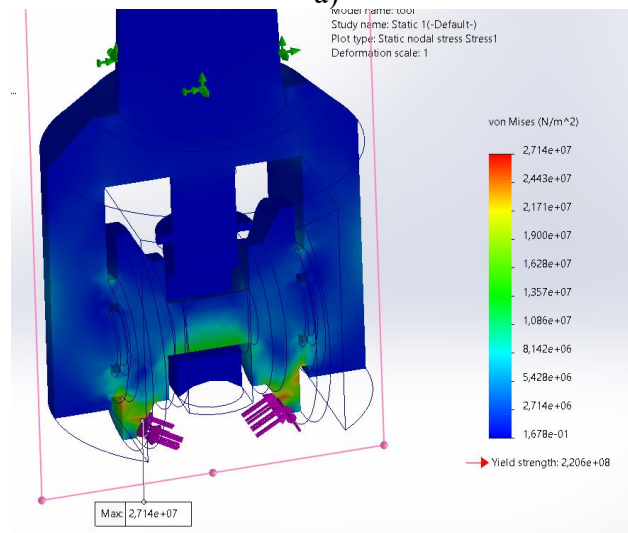


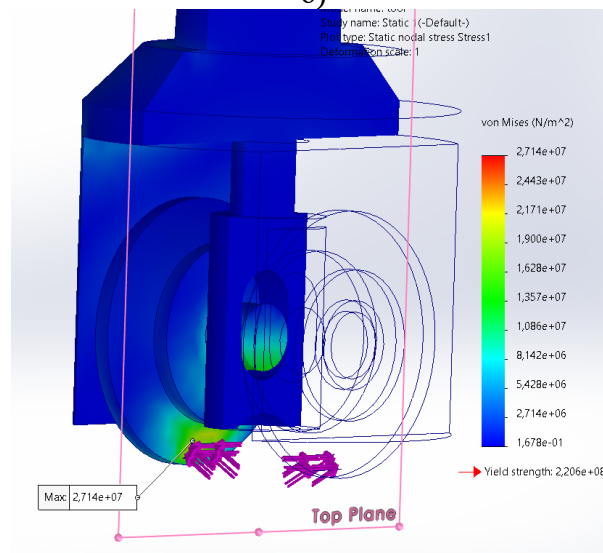
Рисунок 2.4 - Генерування кінцево-елементної сітки моделі інструмента для завальцьовування кульок



a)



б)



в)

Рисунок 2.5 – Величини напружень що виникають в інструменті для завальцювання кульок при дії зовнішнього нормального та тангенціального навантаження: а) загальний вигляд; б) поздовжній переріз; в) поперечний переріз

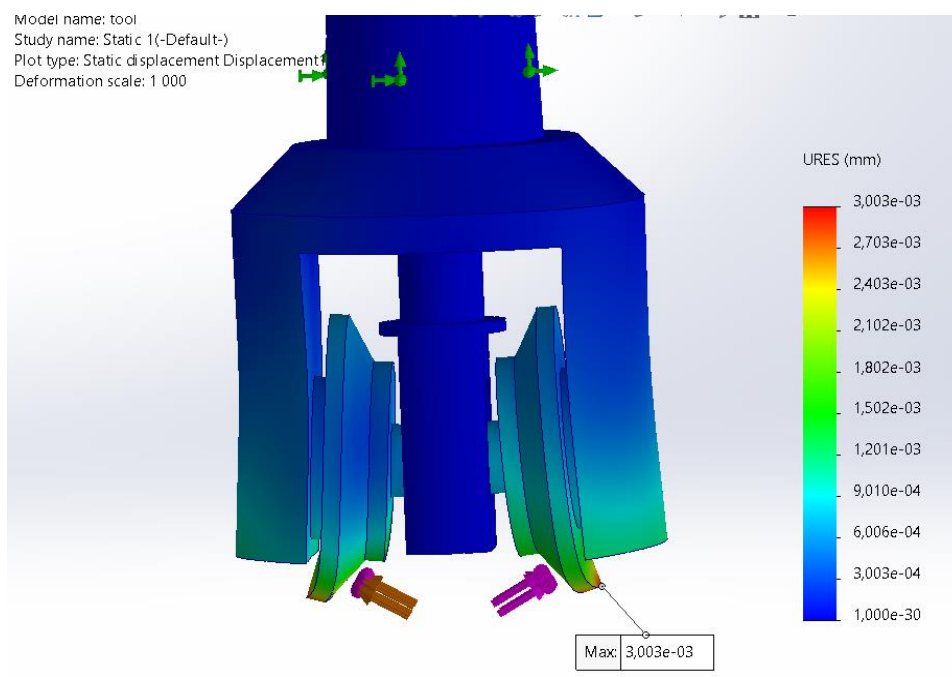


Рисунок 2.6 – Величини деформацій інструменті для завальцювання кульок при дії зовнішнього нормального та тангенціального навантаження
а) загальний вигляд; б) поздовжній переріз

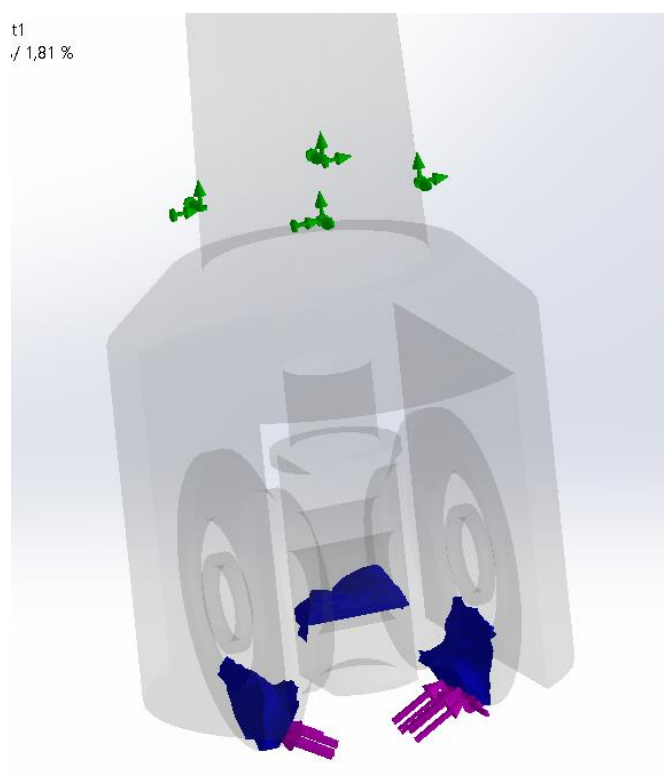


Рисунок 2.7 – Визначення місць інструмента для завальцювання кульок, що мають найменший запас міцності

Також одержали графіки залежності максимальних деформацій (рис. 2.10, рис. 2.11) конічного ролика та корпусу інструмента для завальцьовування кульок.

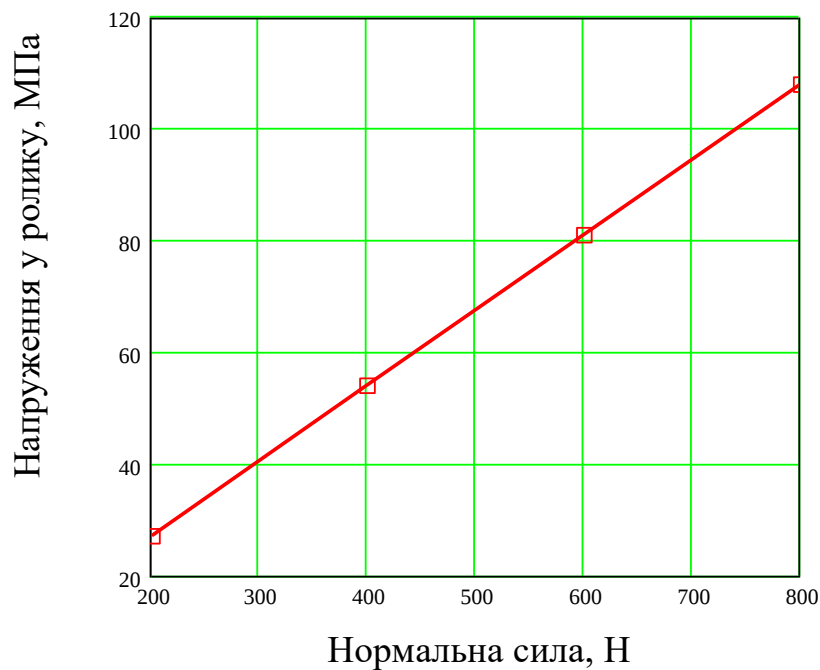


Рисунок 2.8 - Графік залежності максимальних напружень, що виникають у конічному ролику від величини нормальної сили до конічної поверхні

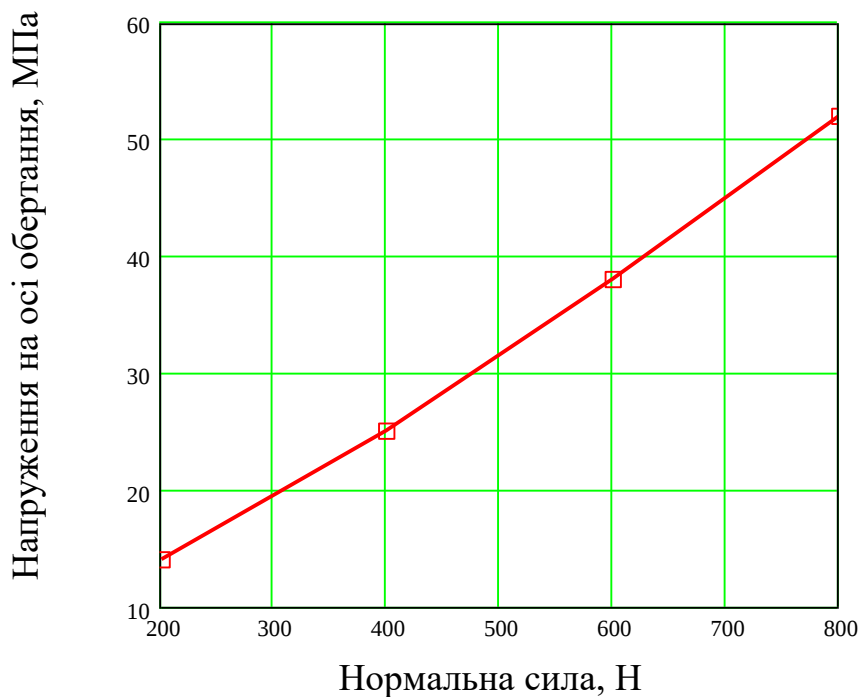


Рисунок 2.9 - Графік залежності максимальних напружень, що виникають на осі, на якій обертаються ролики від величини нормальної сили на конічній поверхні

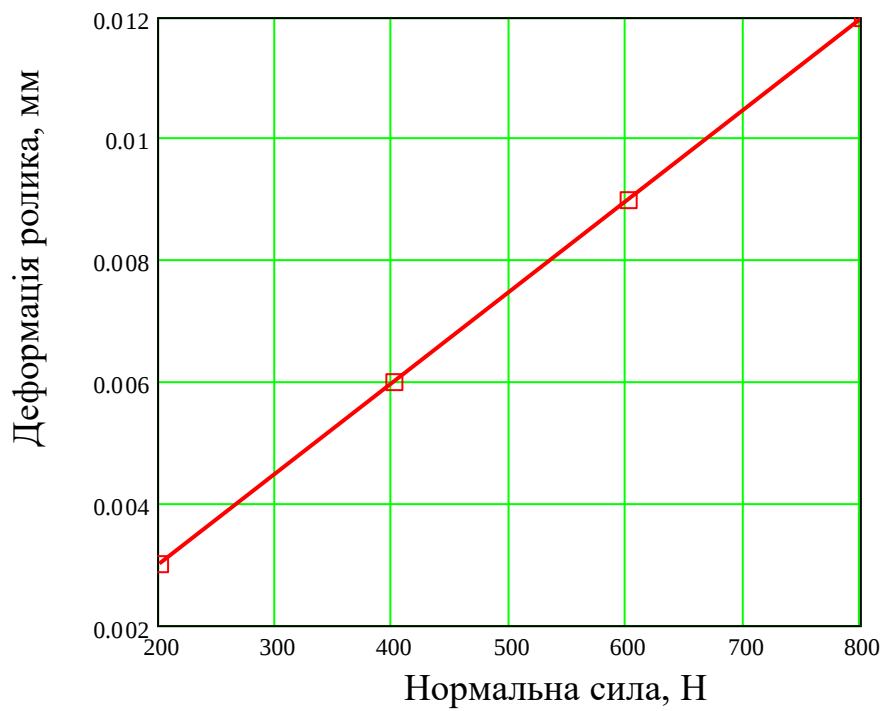


Рисунок 2.10 - Графік залежності максимальних деформацій конічного ролика від величини нормальної сили на конічній поверхні

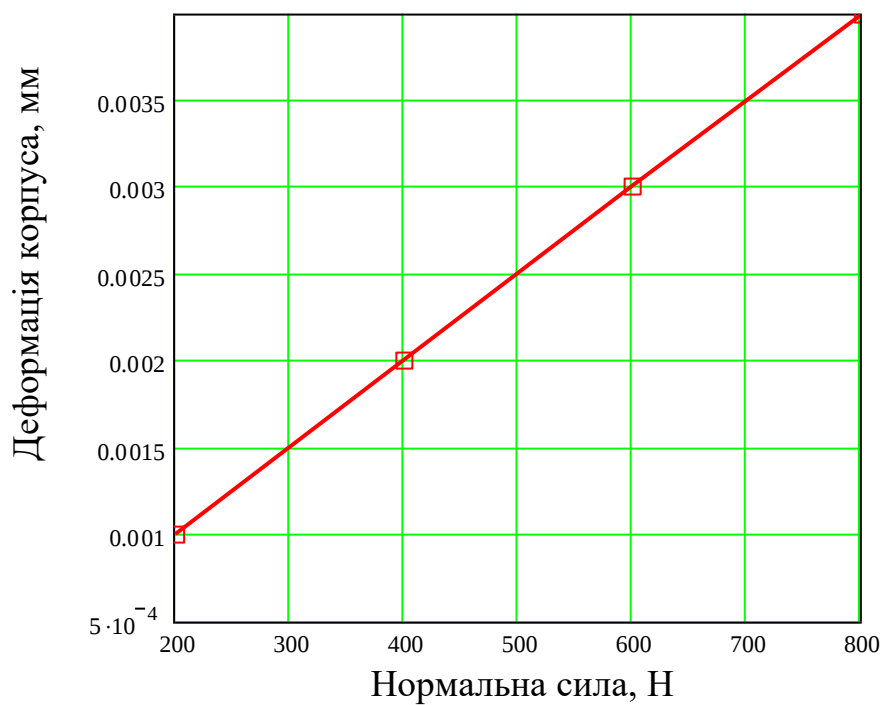


Рисунок 2.11 - Графік залежності максимальних деформацій корпусу інструмента від величини нормальної сили на конічній поверхні

На основі графіків рис. 2.8 – 2.11 встановлено, що величини напружень та деформацій, що виникають у конічному ролику, на осі, на якій обертаються ролики та корпусі інструмента лінійно залежать від величини зовнішньої нормальної та тангенціальної сил деформування циліндричної поверхні заготовки. Мінімальна величина напружень у конічному ролику дорівнює 27 МПа, а максимальна – 108 МПа. Мінімальна величина напружень в осі, на якій обертаються ролики дорівнює 14 МПа, а максимальна – 52 МПа. Мінімальна величина деформації конічного ролика дорівнює 0,003 мм, а максимальна – 0,012 мм. Мінімальна величина деформації корпусу інструмента дорівнює 0,001 мм, а максимальна – 0,004 мм.

2.2. Результати експериментальних досліджень осьової сили завальцьовування кульок у циліндричних тонкостінних лунках

Під час проектування інструмента для завальцьовування кульок у циліндричних лунках плоских поверхонь (рис. 2.1) необхідне значення силових параметрів при виконанні деформації тонкостінної циліндричної частини заготовки, зокрема осьової сили F завальцьовування кульок, вектор якої співпадає із напрямком подачі інструмента до заготовки із кулькою. Для визначення вказаної осьової сили використано методи експериментальних досліджень.

Схема установки для проведення експериментальних досліджень представлена на рис. 2.12. Тонкостінна циліндрична заготовка 1 встановлюється в отвір бази 2, що розміщена на горизонтальній плиті 7, встановленій в лещатах 4. Також на плиті 7 між напрямними 8 розміщено деформувальний елемент 5 з робочими поверхнями, розташованими під кутом деформування α . Крім цього, на плиті 7 розміщено динамометр стиску 6. При проведенні експериментальних досліджень змінювали конструктивні параметри тонкостінної циліндричної заготовки: зовнішній діаметр D та товщину стінки s . А також використовували три різні деформувальні елементи 5 з різними кутами деформування α . Перед

проведенням експерименту кульку 9 встановлювали у внутрішній отвір тонкостінної циліндричної заготовки 1. Після цього за рахунок переміщення затискних елементів 3 лещат 4 створювали осьову силу F завальцьовування кульки, яка передавалась через динамометр стиску 6, деформувальний елемент 5 до циліндричної поверхні тонкостінної циліндричної заготовки 1. Внаслідок цього відбувалась деформація стінки заготовки 1 до контакту із кулькою 9. Значення осьової сили F завальцьовування кульки одержували на циферблаті динамометра стиску 6.

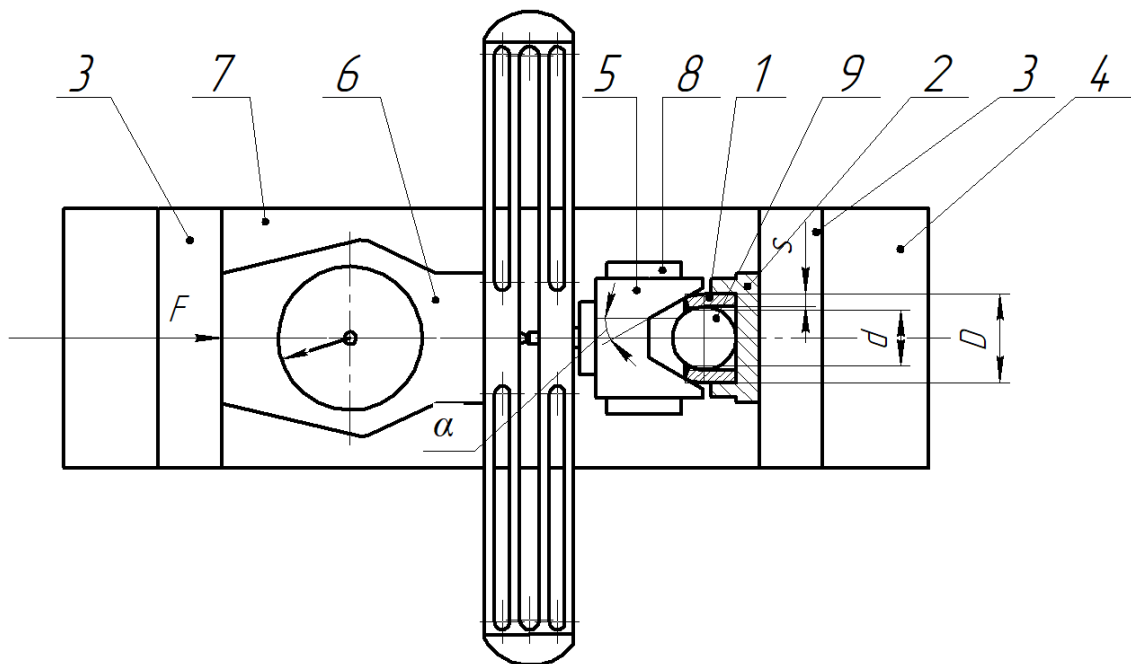


Рисунок 2.12 - Схема установки для проведення експериментальних досліджень осьової сили завальцьовування кульок у циліндричних тонкостінних лунках

Для виконання експериментальних досліджень побудовано план-матрицю повнофакторного експерименту, де включені три незалежні змінні вхідні параметрами на трьох рівнях. На основі аналізу наукових публікацій та можливостей устаткування для проведення досліджень встановлено, що основними факторами, які впливають на осьову силу F завальцьовування кульок

ϵ : зовнішній діаметр D тонкостінної циліндричної заготовки, товщина стінки s тонкостінної циліндричної заготовки, кут деформування α .

Осьову силу F завальцьовування кульок після статистичного оброблення даних експерименту представлено у вигляді функції $F = f(\alpha, s, D)$.

Визначено межі варіювання факторів експерименту:

- кут деформування $\alpha = 10 - 30$ град;
- товщина стінки тонкостінної циліндричної заготовки $s = 0,8 - 1,2$ мм;
- зовнішній діаметр D тонкостінної циліндричної заготовки $D = 10 - 14$ мм.

Визначено нульові рівні кожного із факторів:

- для кута деформування α :

$$X_{01} = \frac{10 + 30}{2} = 20 \text{ (град)}; \quad (2.1)$$

- для товщини стінки тонкостінної циліндричної заготовки s :

$$X_{02} = \frac{0,8 + 1,2}{2} = 1,0 \text{ (мм)}; \quad (2.2)$$

- для зовнішнього діаметра D тонкостінної циліндричної заготовки:

$$X_{03} = \frac{10 + 14}{2} = 12 \text{ (мм)}. \quad (2.3)$$

Інтервали варіювання факторів та їх кодовані значення:

$$\Delta X_1 = \frac{30 - 10}{2} = 10 \text{ (град)}; \quad x_1 = \frac{\alpha - 20}{10}; \quad (2.4)$$

$$\Delta X_2 = \frac{1,2 - 0,8}{2} = 0,2 \text{ (мм)}; \quad x_2 = \frac{s - 1,0}{0,2}; \quad (2.5)$$

$$\Delta X_3 = \frac{14 - 10}{2} = 2 \text{ (мм)}; \quad x_3 = \frac{D - 12}{2}. \quad (2.6)$$

Результати аналізу змінних факторів, що мають вплив на осьову силу F завальцьовування кульок та рівні їх варіювання представлено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Фактори, що мають вплив на осьову силу F завальцьовування кульок та рівні їх варіювання

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур.(кодовані)		
	натур.	код.				
Кут деформування	α , град	x_1	10	30 (+1)	20 (0)	10 (-1)
Товщина стінки тонкостінної циліндричної заготовки	s , мм	x_2	0,2	1,2 (+1)	1,0 (0)	0,8 (-1)
зовнішній діаметр тонкостінної циліндричної заготовки	D , мм	x_3	2	14 (+1)	12 (0)	10 (-1)

Для моделювання взаємозв'язку вхідних факторів та осьової сили F завальцьовування кульок використано рівняння регресії другої степені. Для встановлення значущості коефіцієнтів рівняння регресії застосовано критерій Стюдента. Значення розрахованих за відомими методиками коефіцієнтів рівняння регресії представлено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Значення коефіцієнтів рівняння регресії

Коеф.	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
Сталь 08кп	595	62,5	120,3	-57,1	12,38	-5,88	-11,38	1,037	0,037	8,037

Загальний вигляд рівняння регресії осьової сили F завальцьовування кульки залежно від зміни: кута деформування α , товщини стінки тонкостінної циліндричної заготовки s та зовнішнього діаметра D тонкостінної циліндричної заготовки тобто $F_{(x_1, x_2, x_3)} = f(\alpha, s, D)$ за результатами експериментів у кодованих величинах дорівнює:

$$F_{(x_1, x_2, x_3)} = 595 + 62,5x_1 + 120,3x_2 - 57,1x_3 + 12,38x_1x_2 - 5,88x_1x_3 - 11,38x_2x_3 + 1,037x_1^2 + 0,037x_2^2 + 8,037x_3^2, \quad (2.7)$$

де x_1 - кодоване значення кута деформування α ; x_2 - кодоване значення товщини стінки тонкостінної циліндричної заготовки s ; x_3 - кодоване значення зовнішнього діаметра D тонкостінної циліндричної заготовки.

Усі коефіцієнти рівняння регресії (2.7) є значущими.

У натуральних величинах рівняння регресії осьової сили F завальцювання кульки:

$$F_{(\alpha,s,D)} = 358,465 - 3,88\alpha + 817,25s - 54,2D + 6,19\alpha s + 0,294\alpha D - 28,45sD + 0,0104\alpha^2 + 0,925s^2 + 2,009D^2. \quad (2.8)$$

На основі одержаного рівняння регресії (2.8) та даних експерименту, використовуючи прикладне програмне забезпечення, побудовано графіки, поверхні відгуку та їх двомірні перерізи залежності осьової сили F завальцювання кульки від зміни: кута деформування α , товщини стінки тонкостінної циліндричної заготовки s та зовнішнього діаметра D тонкостінної циліндричної заготовки (рис. 2.13 – 2.18).

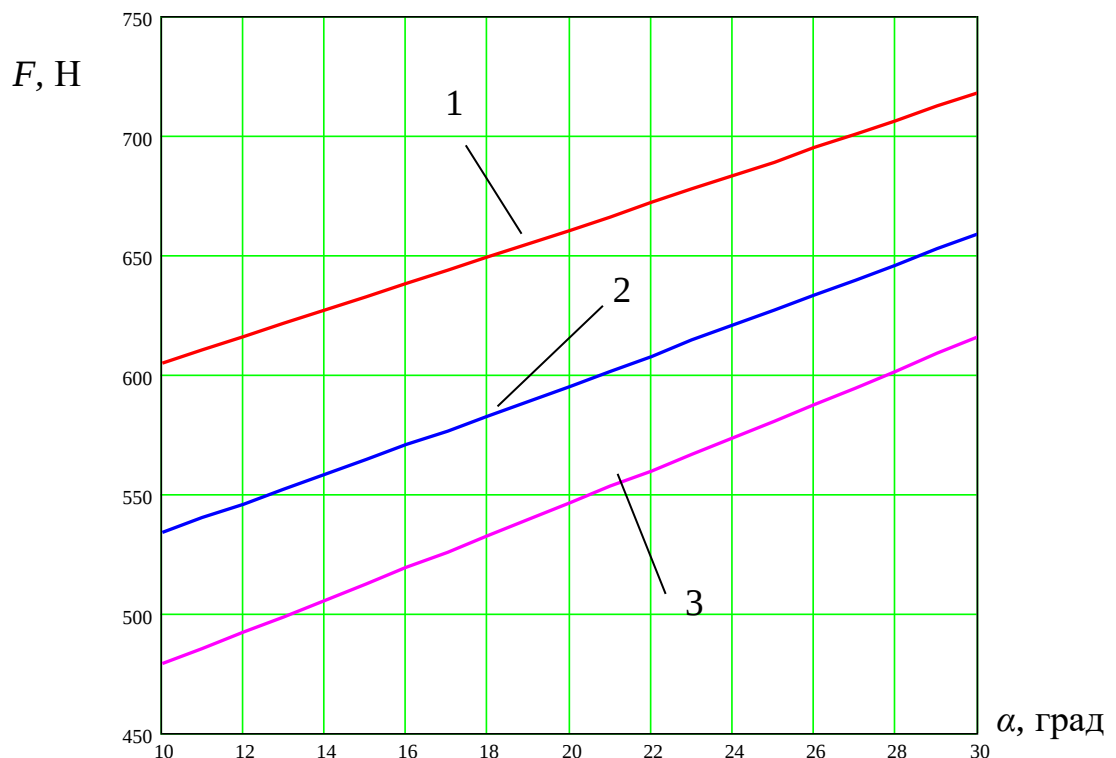
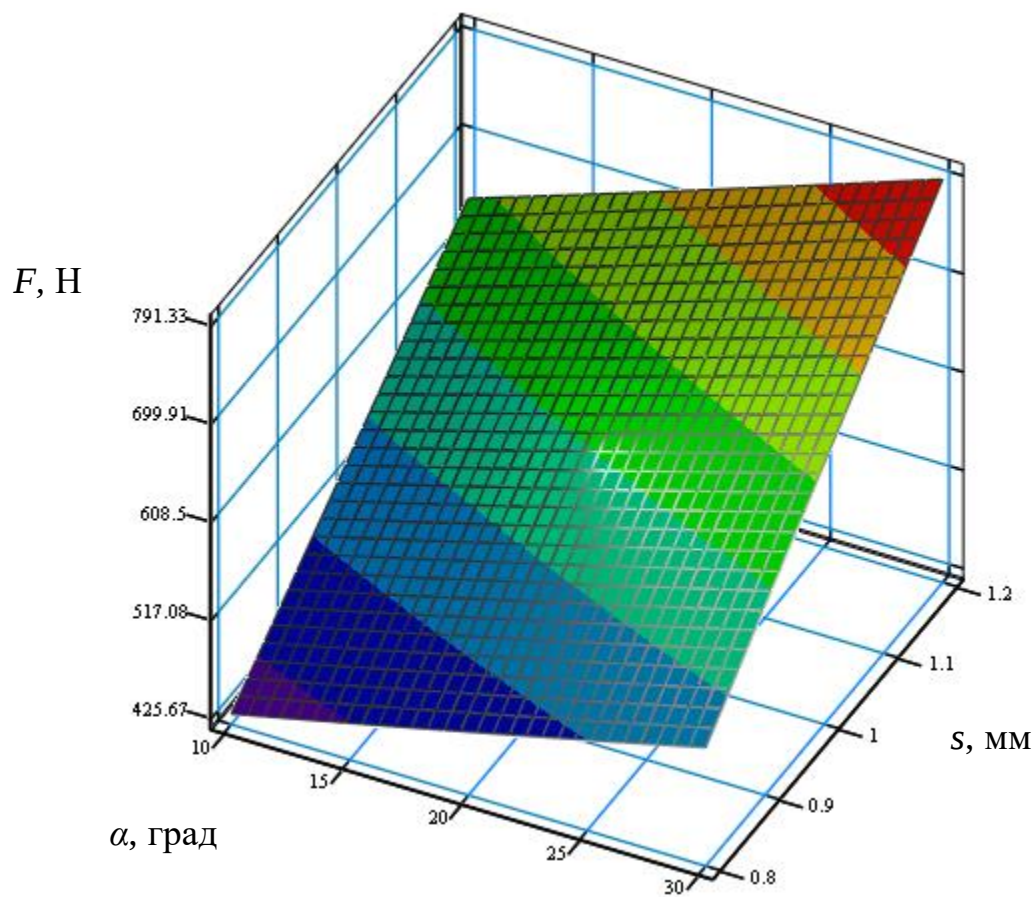
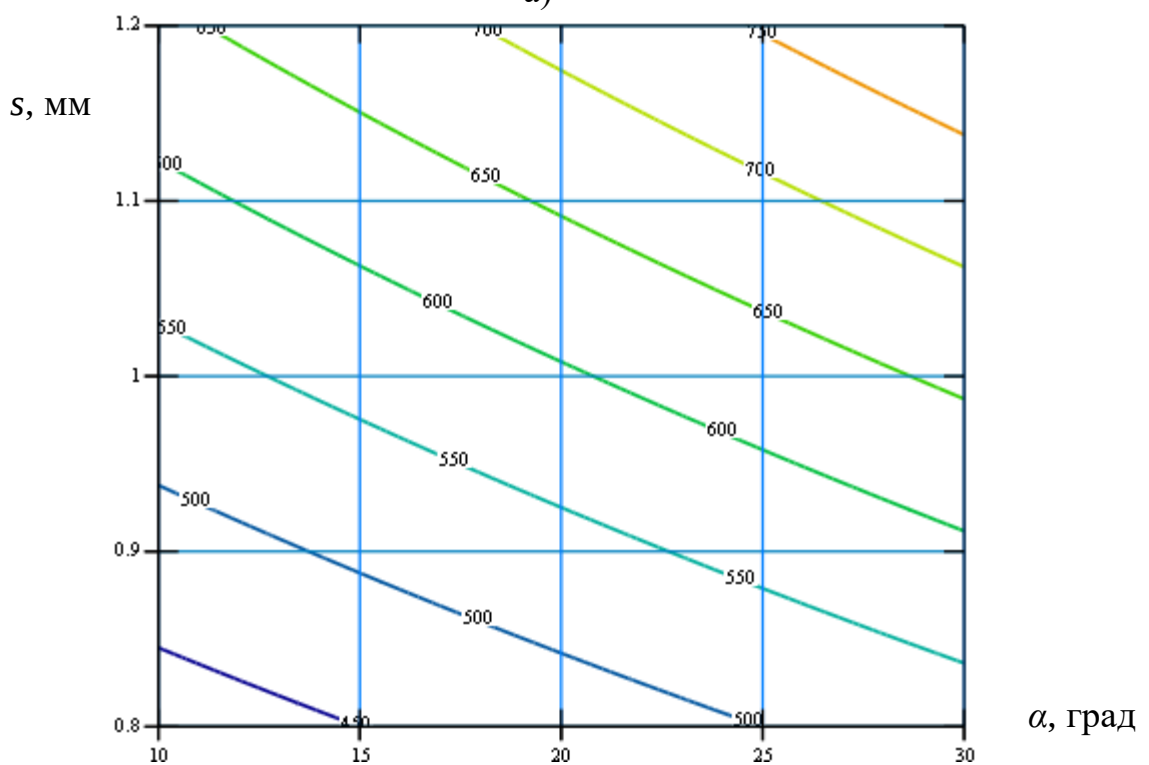


Рисунок 2.13 – Графіки залежності осьової сили F завальцювання кульки від зміни кута деформування α , $s = 1,0$ мм:
1) $D = 10$ мм; 2) $D = 12$ мм; 3) $D = 14$ мм



а)



б)

Рисунок 2.14 - Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності осової сили F завальцьовування кульки від зміни кута деформування α та товщини стінки тонкостінної циліндричної заготовки s ($D=12$ мм)

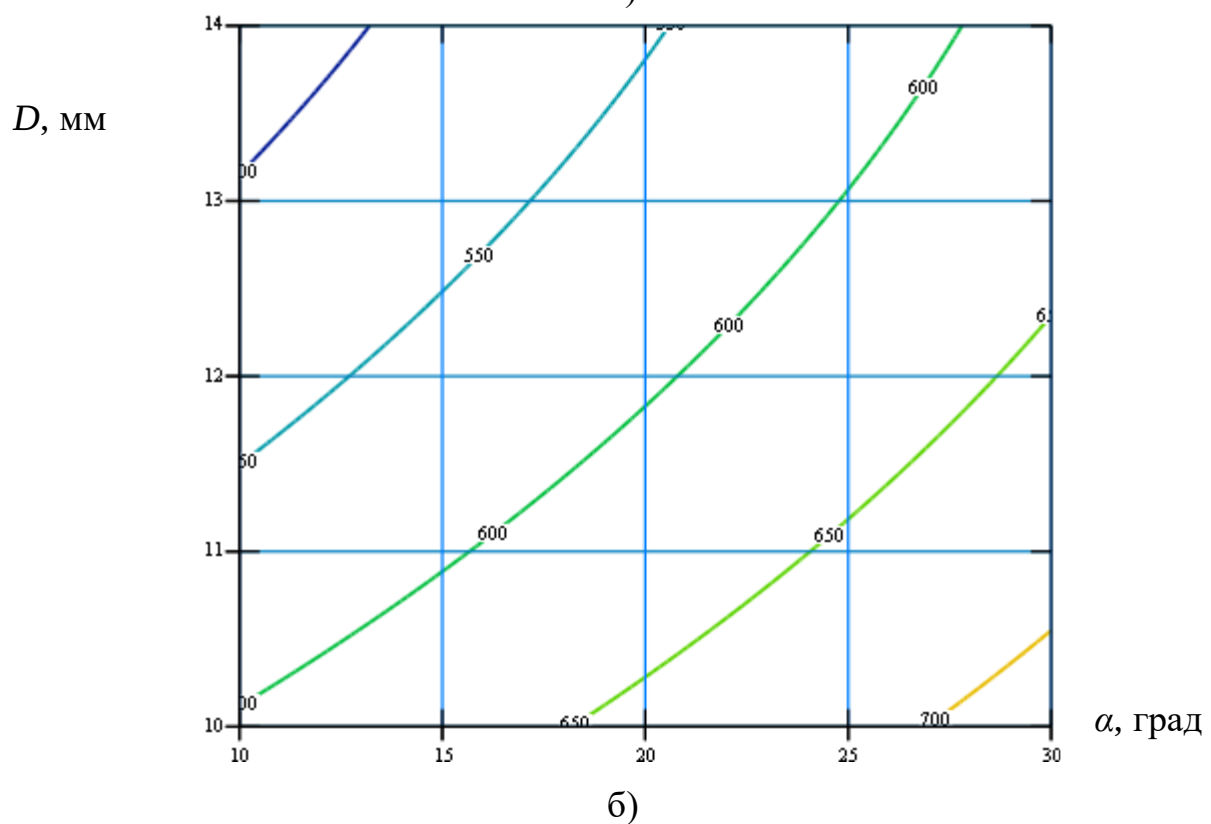
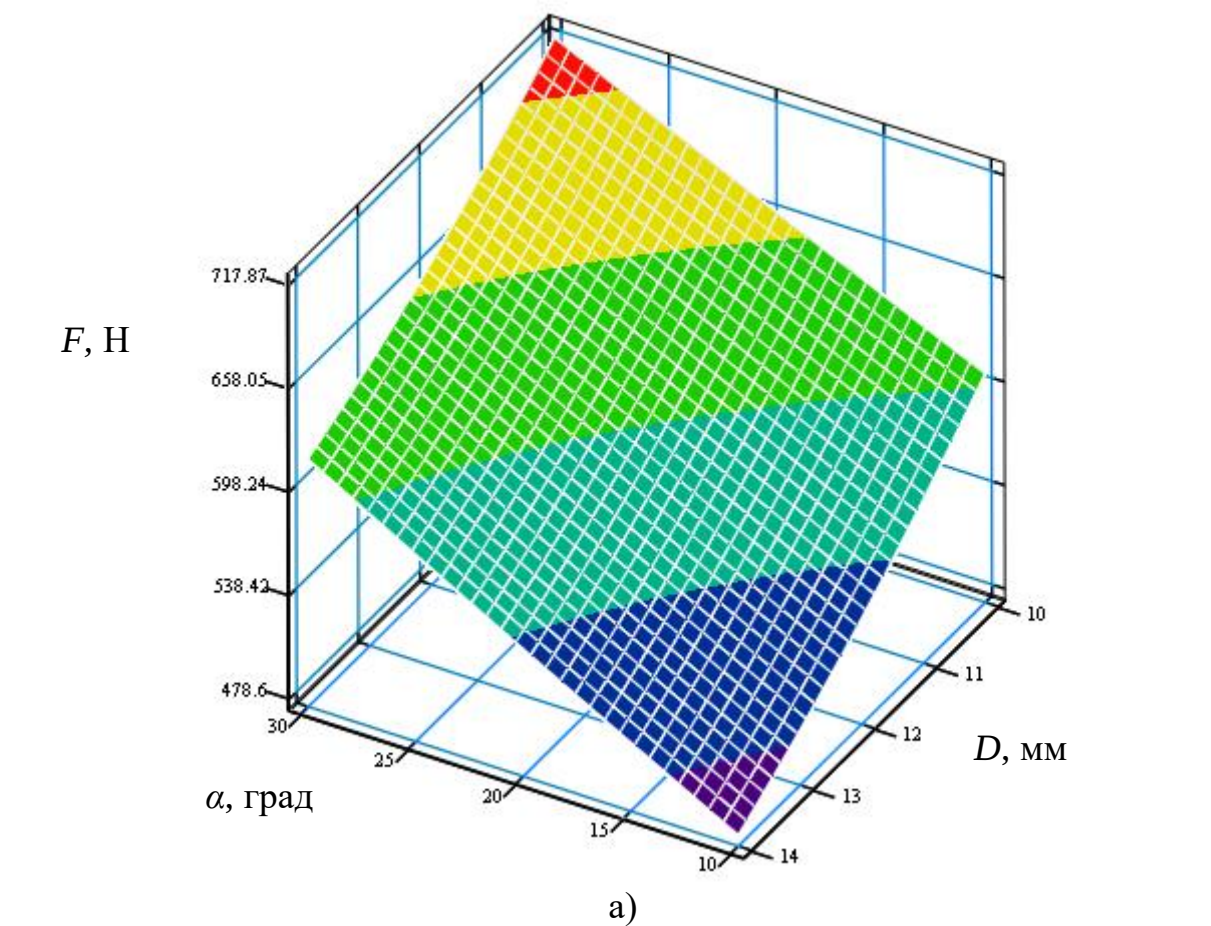
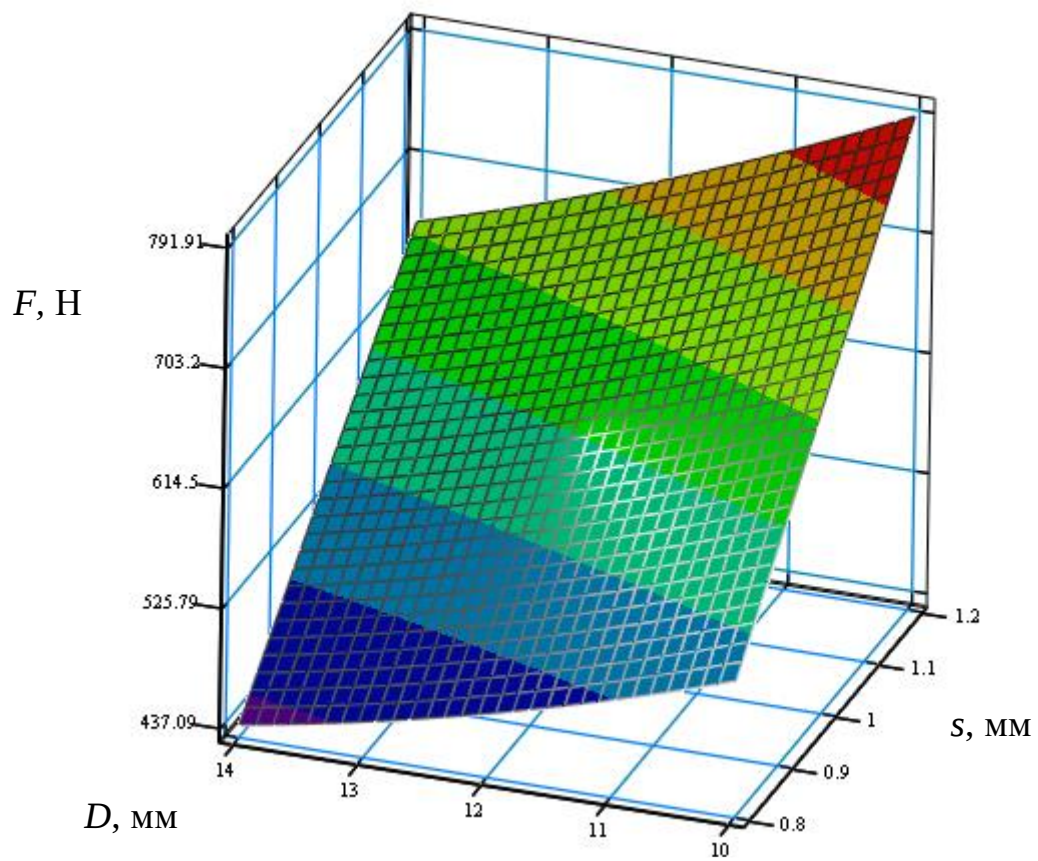
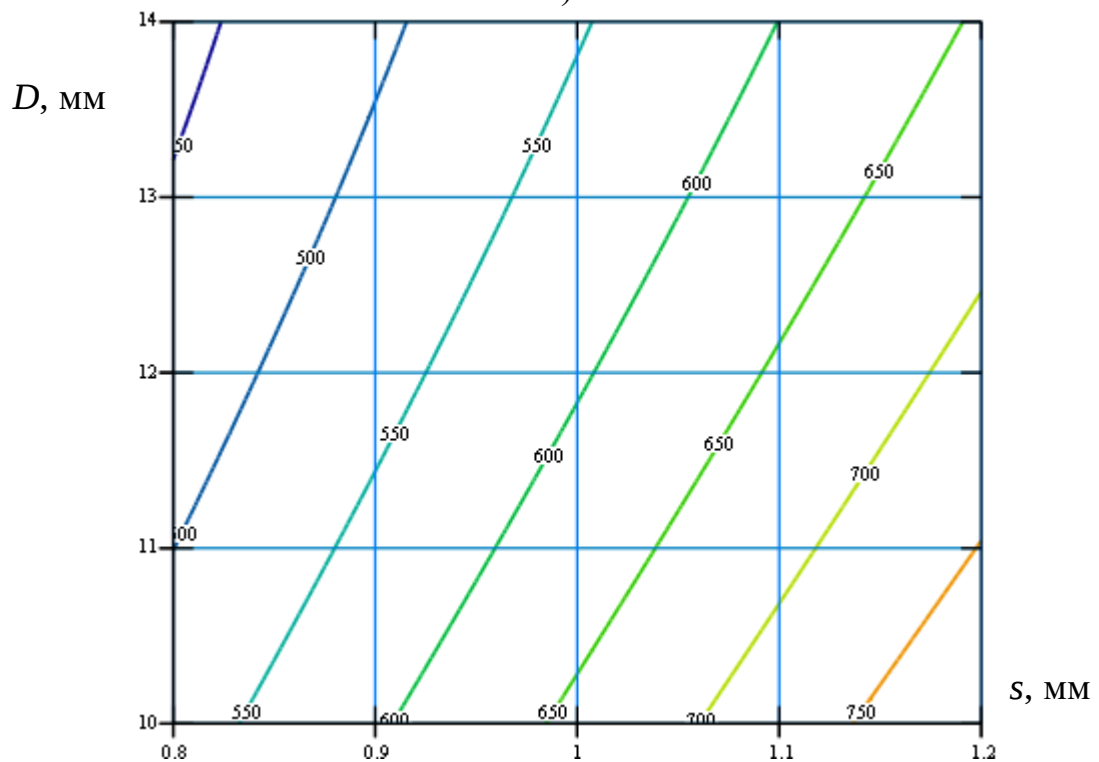


Рисунок 2.15 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності осової сили F завальцьовування кульки від зміни кута деформування α та зовнішнього діаметра D тонкостінної циліндричної заготовки ($s=1$ мм)



а)



б)

Рисунок 2.16 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності осової сили F завальцьовування кульки від зміни товщини стінки тонкостінної циліндричної заготовки s та зовнішнього діаметра D тонкостінної циліндричної заготовки ($\alpha=20$ град)

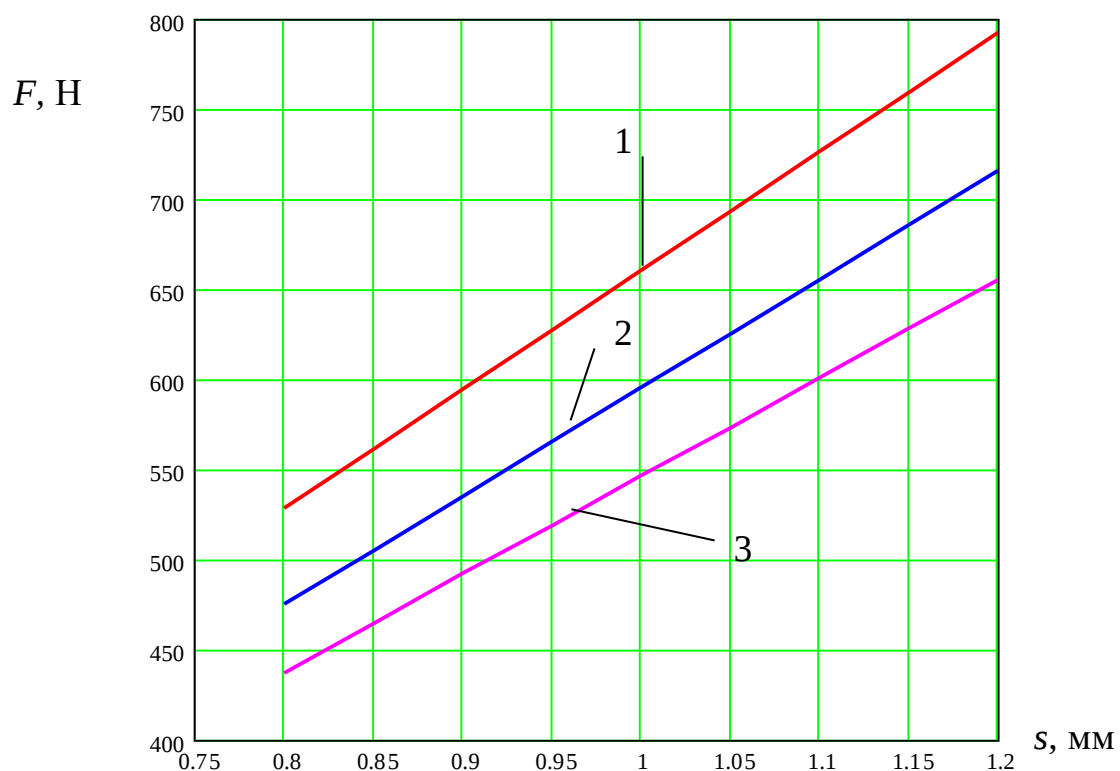


Рисунок 2.17 – Графіки залежності осьової сили F завальцьовування кульки від зміни товщини стінки тонкостінної циліндричної заготовки: $\alpha = 20$ град: 1) $D = 10$ мм; 2) $D = 12$ мм; 3) $D = 14$ мм

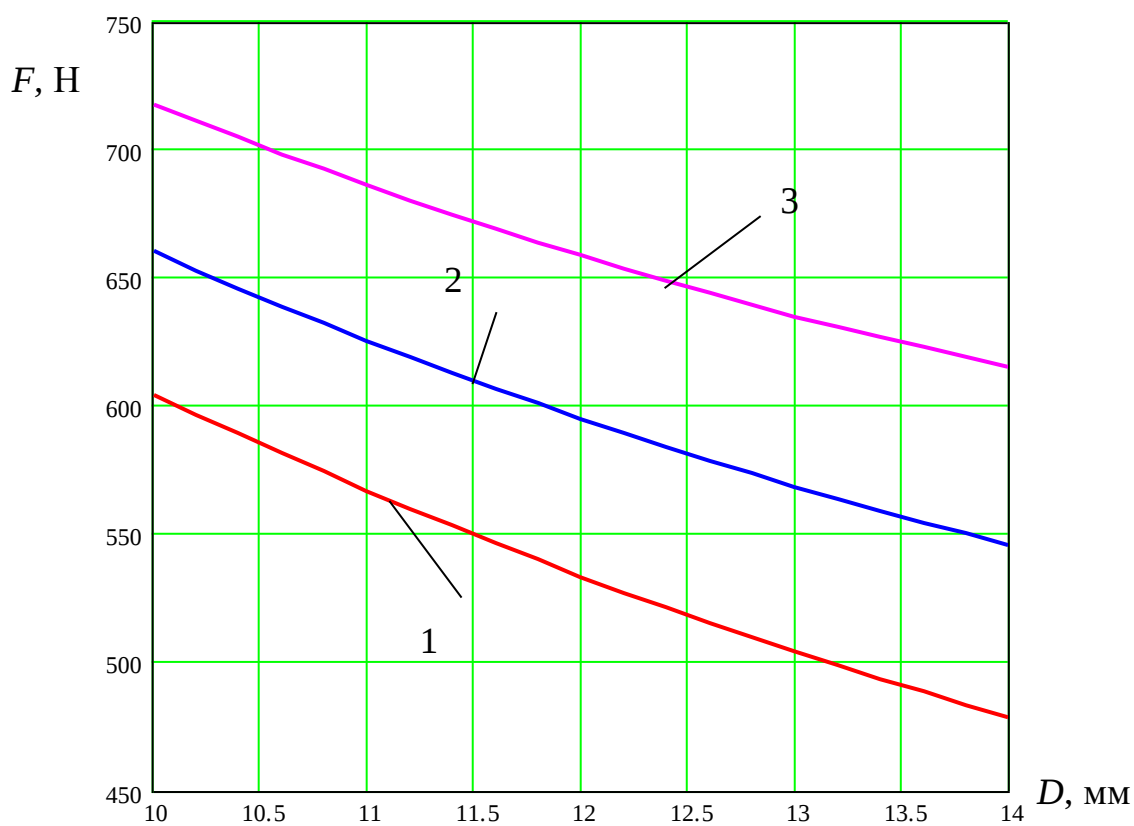


Рисунок 2.18 – Графіки залежності осьової сили F завальцьовування кульки від зміни зовнішнього діаметра D тонкостінної циліндричної заготовки: $s = 1$ мм: 1) $\alpha = 10$ град; 2) $\alpha = 20$ град; 3) $\alpha = 30$ град

Рівняння регресії у кодованих (2.7) та натуральних (2.8) величинах адекватно дозволяють прогнозувати осьову силу F завальцювання кульки при таких параметрах:

$$10 \leq \alpha \leq 30 \text{ (град)}; 10 \leq D \leq 14 \text{ (мм)}; 0,8 \leq s \leq 1,2 \text{ (мм)}.$$

В результаті проведено аналізу графіків та рівняння регресії у кодованих величинах встановлено, що найбільший вплив на осьову силу F завальцювання кульки має товщина стінки тонкостінної циліндричної заготовки s . Менший вплив має кут деформування α і найменший - зовнішній діаметр D тонкостінної циліндричної заготовки. При збільшенні кута деформування α , товщини стінки тонкостінної циліндричної заготовки s осьова силу F завальцювання кульки зростає, а при збільшенні діаметра D тонкостінної циліндричної заготовки – зменшується.

Максимальне значення осьової сили F завальцювання кульки становить 875 Н, а мінімальне – 392 Н. Збільшення кута деформування α від 10 град до 30 град призводить до зростання осьової сили F завальцювання кульки в 1,29 рази., збільшення товщини стінки тонкостінної циліндричної заготовки s від 0,8 мм до 1,2 мм призводить до зростання осьової сили F завальцювання кульки в 1,52 рази, а збільшення діаметра D тонкостінної циліндричної заготовки від 10 мм до 14 мм призводить до зменшення осьової сили F завальцювання кульки в 1,29 рази.

2.3. Висновки

Розроблено інструмент для завальцювання кульок у циліндричних лунках плоских поверхонь, представлено його конструкцію. Проведено дослідження методом кінцевих елементів напружено-деформованого стану деталей інструмента для завальцювання кульок при дії зусилля деформування

тонкостінного циліндричного елемента заготовки в напрямку до поверхні кульки.

Встановлено, що величини напружень та деформацій, що виникають у конічному ролику, на осі, на якій обертаються ролики та корпусі інструмента лінійно залежать від величини зовнішньої нормальної та тангенціальної сил деформування циліндричної поверхні заготовки. Мінімальна величина напружень у конічному ролику дорівнює 27 МПа, а максимальна – 108 МПа. Мінімальна величина напружень в осі, на якій обертаються ролики дорівнює 14 МПа, а максимальна – 52 МПа. Мінімальна величина деформації конічного ролика дорівнює 0,003 мм, а максимальна – 0,012 мм. Мінімальна величина деформації корпусу інструмента дорівнює 0,001 мм, а максимальна – 0,004 мм.

Місцями, що мають найменший запас міцності є конічні ролики а також нижня частина осі, на якій обертаються ролики.

Одержані величини не перевищують границю текучості матеріалів конічних роликів для завальцьовування кульки, осі, на якій обертаються ролики, корпусу інструмента і не суттєво впливають на точність завальцьовування кульок.

Представлено результати експериментальних досліджень осьової сили завальцьовування кульок у циліндричних тонкостінних лунках.

Визначено, що найбільший вплив на осьову силу F завальцьовування кульки має товщина стінки тонкостінної циліндричної заготовки s . Менший вплив має кут деформування α і найменший - зовнішній діаметр D тонкостінної циліндричної заготовки. При збільшенні кута деформування α , товщини стінки тонкостінної циліндричної заготовки s осьова силу F завальцьовування кульки зростає, а при збільшенні діаметра D тонкостінної циліндричної заготовки – зменшується.

Максимальне значення осьової сили F завальцьовування кульки становить 875 Н, а мінімальне – 392 Н. Збільшення кута деформування α від 10 град до 30 град призводить до зростання осьової сили F завальцьовування кульки в 1,29 рази., збільшення товщини стінки тонкостінної циліндричної заготовки s від 0,8

мм до 1,2 мм призводить до зростання осьової сили F завальцювання кульки в 1,52 рази, а збільшення діаметра D тонкостінної циліндричної заготовки від 10 мм до 14 мм призводить до зменшення осьової сили F завальцювання кульки в 1,29 рази.

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Службове призначення деталі

Деталь “Корпус” 738197.070 є базовим елементом світлодіодного світильника, призначеного для загального освітлення виробничих, сільсько-господарських, складських приміщень.

Основними поверхнями деталі “Корпус” 738197.070 є: зовнішні і внутрішні торцеві поверхні $42h14_{(-0,62)}$; $6\pm0,2$; $16\pm0,2$; Ra 12,1; внутрішня еліпсоїдна поверхня $\varnothing380,5H9^{(+0,14)}$; Ra 12,1; зовнішня сферична поверхня $\varnothing380,5$; Rz 50 – призначені для правильного взаємного розміщення, суміщення та встановлення елементів конструкції виробу; паз $b=4H14^{(+0,3)}$; $5\pm0,1$; Ra 12,1 – призначений для встановлення ущільнюючого елементу; тридцять шість отворів $\varnothing2,5H14^{(+0,25)}$; $l=7$; Ra 12,1 – для кріплення світлодіодних панелей саморізами; чотири отвори $\varnothing2,5H14^{(+0,25)}$; $l=7$; Ra 12,1 – для кріплення драйвера саморізами; два наскрізні отвори $\varnothing45H14^{(+0,62)}$; $l=2,5$; $160\pm0,2$; Ra 12,1 – призначені для встановлення кріпильних елементів; глухий різевий отвір M6-7H; $l=6$; Ra 6,8 – для кріплення гвинта заземлення; чотири глухих різевих отвори M4-7H; $l=6$; $\varnothing326\pm0,3$; Ra 6,8 – для кріплення розсіювача зі світлостабілізованого полікарбонату; два ступінчастих отвори $\varnothing12^{+0,43}$; $\varnothing4,5^{+0,3}$; $260\pm0,2$; Ra 12,1 – для кріплення сальників.

Аналіз технічних вимог до деталі представлено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Аналіз технічних вимог

Номер поверхні	Назва поверхні	Квалітет	Шорсткість
1	2	3	4
1, 2	Торцева поверхня $42h14_{(-0,62)}$	14	Ra 12,1
3	Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing374,5H9^{(+0,14)}$; $6\pm0,1$	9	Ra 2,1
4	Внутрішня радіусна поверхня $R72,5H9^{(+0,074)}$	9	Ra 2,1

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4
5	Внутрішня торцева поверхня 16±0,2	14	Ra 12,1
6	Циліндричний торцевий паз b=4H14 ^(+0,3) ; 5±0,1; Ø346 _{-1,4}	14	Ra 12,1
7, 8	Два наскрізні отвори Ø45H14 ^(+0,62) ; 160±0,2	14	Ra 12,1
9	Центральний наскрізний отвір Ø34H14 ^(+0,62)	14	Ra 12,1
10	Наскрізний отвір Ø16,5H14 ^(+0,43) ; 82±0,3; 107±0,3	14	Ra 12,1
11, 12	Два глухих отвори Ø2,5H14 ^(+0,25) ; l=7; 124±0,5; 19±0,2	14	Ra 12,1
13, 14	Дві внутрішні фаски 0,5×45°	14	Ra 12,1
15, 16	Два наскрізних отвори Ø4,5H14 ^(+0,3) ; 260±0,2	14	Ra 12,1
17, 18	Два ступінчасті отвори Ø12H14 ^(+0,43) ; l=12; 260±0,2	14	Ra 12,1
19-54	Тридцять шість глухих отворів Ø2,5H14 ^(+0,25) ; l=7; 102±0,2; 120±0,2; 18±0,2; 33±0,2; 90±0,2; 152±0,2	14	Ra 12,1
55-91	Тридцять шість внутрішніх фасок 0,5×45° в отворах 19-54	14	Ra 12,1
92, 93	Два глухих отвори Ø2,5H14 ^(+0,25) ; l=7; 103±0,3	14	Ra 12,1
94, 95	Дві внутрішні фаски 0,5×45°	14	Ra 12,1
96-99	Чотири глухих отвори під різь М4- 7H Ø3,3 ^{+0,16} ; l=9; Ø326±0,2	12	Ra 6,8
100-103	Чотири внутрішні фаски 0,5×45°	14	Ra 12,1
104-107	Чотири різевих глухих отвори М4- 7H; l=6; Ø326±0,2	(7)	Ra 6,8
108, 109	Два глухих отвори під різь М4-7H Ø3,3 ^{+0,16} ; l=9; 187±0,2	12	Ra 6,8
110, 111	Дві внутрішні фаски 0,5×45°	14	Ra 12,1
112, 113	Два різевих глухих отвори М4-7H; l=6; 187±0,2	(7)	Ra 6,8

Закінчення таблиці 3.1

1	2	3	4
114	Глухий отвір $\varnothing 4,95^{+0,26}$; $l=9$; $143\pm 0,5$; $29\pm 0,2$ під різь М6-7Н	14	Ra12,1
115	Внутрішня фаска $1\times 45^\circ$	14	Ra12,1
116	Внутрішній різевий отвір М6-7Н; $l=7$; $143\pm 0,5$; $29\pm 0,2$	12	Ra6,8
117-119	Три глухих отвори $\varnothing 2,5H14^{(+0,25)}$; $l=7$; $43\pm 0,3$; $122\pm 0,5$; $12\pm 0,2$; $14\pm 0,2$	14	Ra 12,1
120-122	Три внутрішні фаски $0,5\times 45^\circ$	14	Ra 12,1
123	Наскрізний отвір $\varnothing 8H14^{(+0,36)}$; $10\pm 0,2$	14	Ra 12,1
124	Наскрізний отвір $\varnothing 6H14^{(+0,3)}$; $17\pm 0,2$	14	Ra 12,1

3.2. Вибір способу одержання заготовки

Матеріалом деталі “Корпус” 738197.070 є алюмінієвий сплав АК12, що характеризується добрими ливарними властивостями. Під час аналізу способів виготовлення заготовок розглянуто такі два способи:

- 1) лиття в піщані форми із їх механізованим формуванням;
- 2) лиття під тиском.

Оскільки форма деталі є складною, визначення маси заготовки використано формулу:

$$Q = q + m_{\text{пр}}, \quad (3.1)$$

$q = 1,7$ кг – маса деталі;

$$m_{\text{пр}} = V_{\text{пр}} \cdot \rho. \quad (3.2)$$

Чисельні дані про припуски і поверхні деталі, що піддаються механічній обробці подано у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Припуски деталі “Корпус” 738197.070

Оброблювана поверхня, її розмір, точність	Параметр шорсткості деталі, мкм	Допуск заготовки, мм	Загальний припуск, мм	Розмір заготовки із граничними відхиленнями
1	2	3	4	5
1) лиття в піщані форми із їх механізованим формуванням				
Зовнішня поверхня 380,5	Rz50	6,4	Не підлягає механічній обробці	380,5±3,2
Торцева поверхня 42h14 _(-0,62)	Ra 12,1	4,0	4,2 × 2 = 8,4	50,4±2,0
Внутрішня циліндрична поверхня Ø374,5H9 ^(+0,14)	Ra 2,1	6,4	10 × 2 = 20	Ø354,5±3,2
Внутрішня радіусна поверхня R72,5H9 ^(+0,074)	Ra 2,1	4,4	10	R62,5±2,2
Два наскрізні отвори Ø45H14 ^(+0,62)	Ra 12,1	4,0	4,2 × 2 = 8,4	Ø36,6±2,0
Центральний наскрізний отвір Ø34H14 ^(+0,62)	Ra 12,1	3,6	4,2 × 2 = 8,4	Ø25,6±1,8
Наскрізний отвір Ø16,5H14 ^(+0,43)	Ra 12,1	—	—	Не виливається
1) лиття під тиском				
Зовнішня поверхня 380,5	Rz50	1,6	Не підлягає механічній обробці	380,5±0,8
Торцева поверхня 42h14 _(-0,62)	Ra 12,1	1,0	1,1 × 2 = 2,2	44,2±0,5
Внутрішня циліндрична поверхня Ø374,5H9 ^(+0,14)	Ra 2,1	1,6	2,4 × 2 = 4,8	Ø369,7±0,8
Внутрішня радіусна поверхня R72,5H9 ^(+0,074)	Ra 2,1	1,1	2,4	R70,1±0,55
Внутрішня торцева поверхня 16±0,2	Ra 12,1	0,7	1,0	15±0,35 (на кресленні вказується 16,1±0,35)
Два наскрізні отвори Ø45H14 ^(+0,62)	Ra 12,1	1,0	1,1 × 2 = 2,2	Ø42,8±0,5

Закінчення таблиці 3.2

1	2	3	4	5
Центральний наскрізний отвір Ø34H14(+0,62)	Ra 12,1	0,9	$1,1 \times 2 = 2,2$	$\varnothing 31,8 \pm 0,45$
Наскрізний отвір Ø16,5H14(+0,43)	Ra 12,1	0,8	$1,0 \times 2 = 2,0$	$\varnothing 14,5 \pm 0,4$
Два ступінчасті отвори Ø12H14(+0,43)	Ra 12,1	0,7	$1,0 \times 2 = 2,0$	$\varnothing 10 \pm 0,35$
Внутрішній торець отворів Ø12H14	Ra 12,1	0,7	1,0	$11 \pm 0,35$

Ескізи варіантів способів виготовлення заготовок корпусу 738197.070 представлено на рис. 3.1, 3.2.

Розраховуємо об'єми припусків для двох альтернативних варіантів:

- лиття в піщані форми із їх механізованим формуванням:

$$V_{\text{пр1}} = \frac{\pi \cdot (374,5^2 - 354,5^2) \cdot 16,3}{4} = 186558,4 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр2}} = \frac{\pi \cdot (380,5^2 - 354,5^2) \cdot 4,2}{4} = 63005,7 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр3}} = \frac{\pi \cdot 349^2 \cdot 4,2}{4} = 401577,9 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр4}} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot (45^2 - 36,6^2) \cdot 2,5}{4} = 2690,4 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр5}} = \frac{\pi \cdot (34^2 - 25,6^2) \cdot 2,5}{4} = 982,51 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр6}} = \frac{\pi \cdot 16,5^2 \cdot 2,5}{4} = 534,3 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр7}} = 40 \cdot \frac{\pi \cdot 2,5^2 \cdot 7}{4} = 1373,75 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр8}} = 6 \cdot \frac{\pi \cdot 3,3^2 \cdot 9}{4} = 461,63 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np9}} = \frac{\pi \cdot (346^2 - 338^2) \cdot 5}{4} = 21477,6 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np10}} = \frac{\pi \cdot 5^2 \cdot 9}{4} = 176,63 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np}} = \sum V_{\text{np}_i}.$$

$$\begin{aligned} \sum V_{\text{np}_i} &= 186558,4 + 63005,7 + 401577,9 + 2690,4 + 982,51 + 534,3 + 1373,75 + \\ &+ 461,63 + 21477,6 + 176,63 = 678838,82 \text{ мм}^3 = 678,84 \text{ см}^3. \end{aligned}$$

- ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ:

$$V_{\text{np1}} = \frac{\pi \cdot (374,5^2 - 369,7^2) \cdot 15,3}{4} = 42903,43 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np2}} = \frac{\pi \cdot (380,5^2 - 369,7^2) \cdot 1,1}{4} = 6996,22 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np3}} = \frac{\pi \cdot 349^2 \cdot 1,1}{4} = 105175,2 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np4}} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot (45^2 - 42,8^2) \cdot 2,5}{4} = 758,2 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np5}} = \frac{\pi \cdot (34^2 - 31,8^2) \cdot 2,5}{4} = 284,1 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np6}} = \frac{\pi \cdot (16,5^2 - 14,5^2) \cdot 2,5}{4} = 121,7 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np7}} = 40 \cdot \frac{\pi \cdot 2,5^2 \cdot 7}{4} = 1373,75 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np8}} = 6 \cdot \frac{\pi \cdot 3,3^2 \cdot 9}{4} = 461,63 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np9}} = \frac{\pi \cdot (346^2 - 338^2) \cdot 5}{4} = 21477,6 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{np10}} = \frac{\pi \cdot 5^2 \cdot 9}{4} = 176,63 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр}} = \sum V_{\text{пр}_i}.$$

$$\sum V_{\text{пр}_2} = 42903,43 + 6996,22 + 105175,2 + 758,2 + 284,1 + 121,7 + 1373,75 + 461,63 + 21477,6 + 176,63 = 179728,46 \text{ мм}^3 = 179,73 \text{ см}^3.$$

Загальні маси припусків:

– лиття в піщані форми із їх механізованим формуванням:

$$m_{\text{пр}_1} = 678,84 \cdot 2,6 = 1764,98 \text{ г} = 1,765 \text{ кг}.$$

– лиття під тиском:

$$m_{\text{пр}_2} = 179,73 \cdot 2,6 = 467,298 \text{ г} = 0,47 \text{ кг}.$$

Визначаємо маси заготовок:

– лиття в піщані форми із їх механізованим формуванням:

$$Q_1 = 1,7 + 1,7 = 3,4 \text{ кг}.$$

– лиття під тиском:

$$Q_1 = 1,7 + 0,47 = 2,17 \text{ кг}.$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{q}{Q}, \quad (3.3)$$

– лиття в піщані форми із їх механізованим формуванням:

$$K_{\text{в.м.1}} = \frac{1,7}{3,4} = 0,5.$$

– лиття під тиском:

$$K_{\text{в.м.2}} = \frac{1,7}{2,17} = 0,78.$$

Вибираємо для умов середньосерійного типу виробництва а також характеристик поверхонь деталі “Корпус” 738197.070 спосіб виготовлення заготовки - литво під тиском.

3.3. Формування технологічного процесу

На основі вказаних вище даних проводимо проектування технологічного процесу механічної обробки деталі “Корпус” 738197.070.

005 Токарна з ЧПК

1. Підрізати остаточно торець 2, витримуючи розмір $43,1_{-0,62}$.

2. Розточити попередньо внутрішню циліндричну поверхню 3, радіусну внутрішню поверхню 4 з остаточною підрізанням торця 5 по програмі послідовно, витримуючи розміри $\varnothing 374,04^{+0,36}$; $R72,27^{+0,19}$; $16 \pm 0,2$.

3. Розточити остаточно внутрішню циліндричну поверхню 3, радіусну внутрішню поверхню 4, витримуючи розміри $\varnothing 374,5^{+0,14}$; $R72,5^{+0,074}$; $16 \pm 0,2$.

4. Перевірити розміри: $43,1_{-0,62}$; $\varnothing 374,5^{+0,14}$; $R72,5^{+0,074}$; $16 \pm 0,2$.

Контроль 30%.

010. Токарна з ЧПК

1. Підрізати остаточно торець 1, витримуючи розмір $42_{-0,62}$.

2. Розточити остаточно циліндричний торцевий паз 6, витримуючи розміри $4^{+0,3}$; $5 \pm 0,1$; $\varnothing 346_{-1,4}$.

3. Перевірити розміри: $42_{-0,62}$; $4^{+0,3}$; $5 \pm 0,1$; $\varnothing 346_{-1,4}$.

Контроль 30%.

015. Програмна з ЧПК

2. Розсвердлити центральний отвір 9, витримуючи розмір $\varnothing 34^{+0,62}$.

3. Розточити два отвори 7, 8 послідовно по програмі, витримуючи розміри $\varnothing 45^{+0,62}$; $160 \pm 0,2$.

4. Центрувати сорок сім отворів 11, 12, 19-54, 96-99, 92, 93, 108, 109, 114 послідовно по програмі, витримуючи розміри $\varnothing 1,0^{+0,10}$; $\varnothing 2,12^{+0,12}$; 1,3; $0,97^{+0,06}$; $124 \pm 0,5$; $19 \pm 0,2$; $102 \pm 0,2$; $120 \pm 0,2$; $18 \pm 0,2$; $33 \pm 0,2$; $90 \pm 0,2$; $152 \pm 0,2$; $\varnothing 326 \pm 0,2$; $103 \pm 0,3$; $187 \pm 0,2$; $143 \pm 0,5$; $29 \pm 0,2$.

5. Свердлити сорок отворів 11, 12, 19-54, 92, 93 з одночасним формуванням сорока фасок 13, 14, 55-91, 94, 95 послідовно по програмі, витримуючи розміри

$\varnothing 2,5^{+0,25}$; $l=7$; $124\pm 0,5$; $19\pm 0,2$; $102\pm 0,2$; $120\pm 0,2$; $18\pm 0,2$; $33\pm 0,2$; $90\pm 0,2$; $152\pm 0,2$; $103\pm 0,3$; $0,5\times 45^\circ$.

6. Свердли́ти шість отворів 96-99, 108, 109 під різь М4-7Н послідовно по програмі, витримуючи розміри $\varnothing 3,3^{+0,16}$; $\varnothing 326\pm 0,2$; $l=9$; $187\pm 0,2$.

7. Свердли́ти отвір 114 під різь М6-7Н, витримуючи розміри $\varnothing 4,95^{+0,26}$; $l=9$; $143\pm 1,2$; $29\pm 0,5$.

8. Зенкувати сім фасок 100-103, 110, 111, 115 послідовно по програмі, витримуючи розміри $0,5\times 45^\circ$; $\varnothing 326\pm 0,2$; $33\pm 0,2$.

9. Свердли́ти два отвори 15, 16 послідовно по програмі, витримуючи розміри $\varnothing 4,5^{+0,3}$; $260\pm 0,2$.

10. Цекувати два отвори 17, 18 послідовно по програмі, витримуючи розміри $\varnothing 12^{+0,43}$; $l=12$; $260\pm 0,2$.

11. Нарізати різь 104-107, 112, 113 в шести глухих отворах послідовно по програмі, витримуючи розміри М4-7Н; $l=6$; $\varnothing 326\pm 0,2$; $187\pm 0,2$.

12. Нарізати різь 116 в одному глухому отворі, витримуючи розміри М6-7Н; $l=7$; $143\pm 0,5$; $29\pm 0,2$.

14. Перевірити розміри: $\varnothing 34^{+0,62}$; $\varnothing 45^{+0,62}$; $160\pm 0,2$; $\varnothing 2,5^{+0,25}$; $l=7\pm 0,2$; $124\pm 0,5$; $19\pm 0,2$; $102\pm 0,2$; $120\pm 0,2$; $18\pm 0,2$; $33\pm 0,2$; $90\pm 0,2$; $152\pm 0,2$; $103\pm 0,3$; $0,5\times 45^\circ$; $\varnothing 4,5^{+0,3}$; $260\pm 0,2$; $\varnothing 12^{+0,43}$; $l=12\pm 0,2$; М4-7Н; $l=6\pm 0,1$; $\varnothing 326\pm 0,2$; $187\pm 0,2$; М6-7Н; $143\pm 0,5$; $29\pm 0,2$.

Контроль 30%.

020 Свердлильна з ЧПК

1. Розсвердли́ти отвір 10, витримуючи розміри $\varnothing 16,5^{+0,43}$; $82\pm 0,3$; $107\pm 0,3$.

2. Центрувати три отвори 117, 118, 119 послідовно по програмі, витримуючи розміри $\varnothing 1,0^{+0,10}$; $\varnothing 2,12^{+0,12}$; $1,3$; $0,97^{+0,06}$; $43\pm 0,3$; $122\pm 0,5$; $12\pm 0,2$; $14\pm 0,2$.

3. Свердли́ти три отвори 117, 118, 119 з одночасним формуванням трьох фасок 120, 121, 122 послідовно по програмі, витримуючи розміри $\varnothing 2,5^{+0,25}$; $l=7\pm 0,2$; $43\pm 0,3$; $122\pm 0,5$; $12\pm 0,2$; $14\pm 0,2$.

4. Перевірити розміри: $\varnothing 16,5^{+0,43}$; $82 \pm 0,3$; $107 \pm 0,3$; $\varnothing 2,5^{+0,25}$; $l = 7 \pm 0,2$; $43 \pm 0,3$; $122 \pm 0,5$; $12 \pm 0,2$; $14 \pm 0,2$

Операція 025 Вертикально-свердлильна

2. Свердлити отвір 123, витримуючи розміри $\varnothing 8H14^{(+0,36)}$; $10 \pm 0,2$.

Операція 030 Вертикально-свердлильна

2. Свердлити отвір 124, витримуючи розміри $\varnothing 6H14^{(+0,3)}$; $17 \pm 0,2$.

Операція 035. Контроль.

3.4. Визначення припусків на оброблення

Розрахунки припусків проведено аналітичними та табличними методами, оформлено вигляді таблиці 3.4.

Габаритні розміри заготовки: $\varnothing 380,5 \pm 0,8$; $\times 44,2 \pm 0,5$.

Послідовність оброблення поверхні $\varnothing 374,5H9^{(+0,14)}$ із припусками та допусками представлено на рис. 3.3.

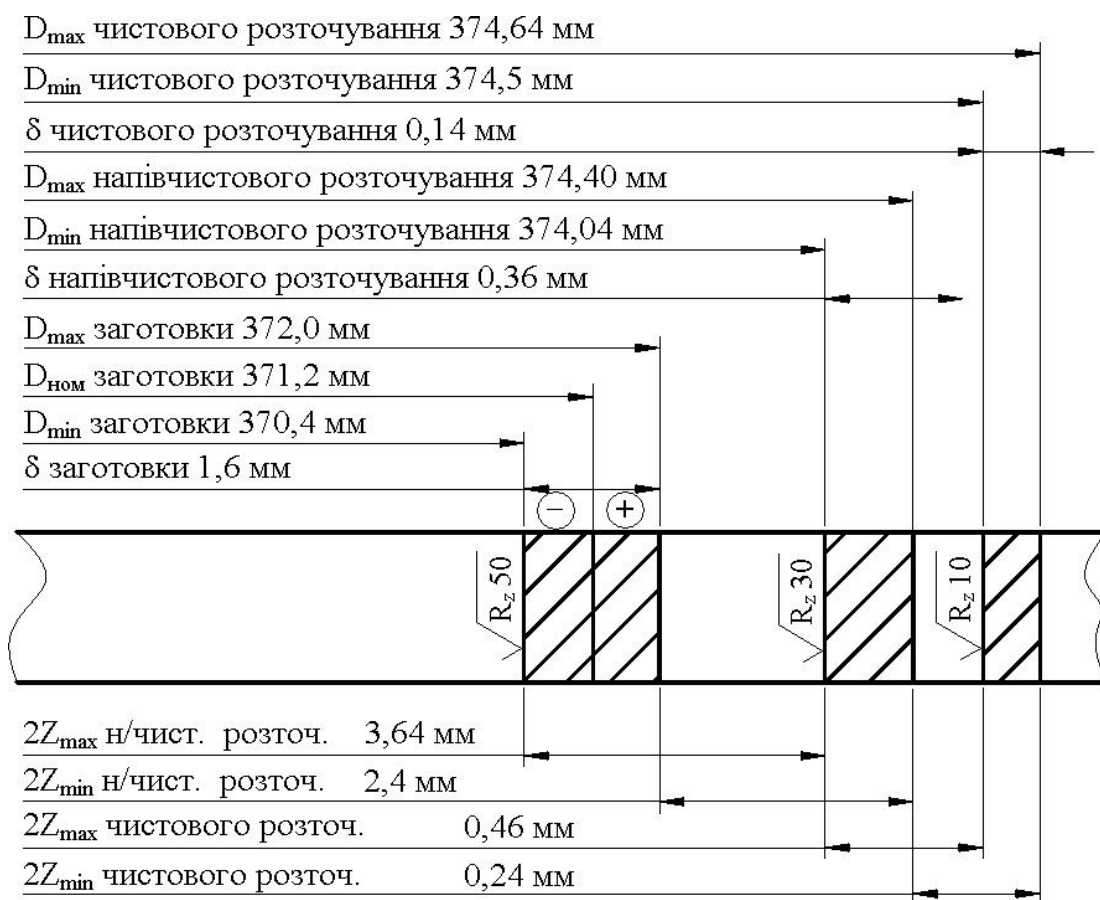


Рисунок 3.3 – Послідовність оброблення поверхні $\varnothing 374,5H9^{(+0,14)}$ із припусками та допусками

Таблиця 3.4 – Розрахункові припуски деталі “Корпус” 738197.070

Технологічні операції і переходи обробки поверхонь деталі	Квалітет (ступінь точності)	Шорсткість, мкм	Допуск, мм	Припуск, мм	Операційні (проміжні) розміри із граничними відхиленнями
1	2	3	4	5	6
Торцева поверхня 42h14 _(-0,62)					
Напівчистове точіння (обробка однієї сторони)	14	Ra12,1	0,62	1,1	42 _{-0,62}
Напівчистове точіння (обробка другої сторони)	14	Ra12,1	0,62	1,1	43,1 _{-0,62}
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	1,0	1,1 × 2 = 2,2	44,2±0,5
Внутрішня радіусна поверхня R72,5H9 ^(+0,074)					
Розточування чистове	9	Ra2,1	0,074	0,23	R72,5 ^{+0,074}
Розточування напівчистове	11	Rz30	0,19	1,42	R72,27 ^{+0,19}
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	1,1	Приймаємо з конструктивних міркувань 1,65	R70,85±0,55
Внутрішня торцева поверхня 16±0,2					
Напівчистове підрізання торця	14	Ra12,1	0,4	1,0	16±0,2
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	0,7	—	15±0,35
Отвір Ø45H14 ^(+0,62)					
Розточування	14	Ra12,1	0,43	1,1 × 2 = 2,2	Ø45 ^{+0,62}
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	1,0	—	Ø42,8±0,5
Центральний наскрізний отвір Ø34H14 ^(+0,62)					
Розсвердлювання	14	Ra12,1	0,3	1,1 × 2 = 2,2	Ø34 ^{+0,62}
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	0,9	—	Ø31,8±0,45
Наскрізний отвір Ø16,5H14 ^(+0,43)					

Закінчення таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6
Розсвердлювання	14	Ra12,1	0,3	$1,0 \times 2 = 2,0$	$\varnothing 16,5^{+0,43}$
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	0,8	—	$\varnothing 14,5 \pm 0,4$
Два ступінчасті отвори $\varnothing 12H14^{(+0,43)}$					
Розточування напівчистове	14	Ra12,1	0,4	$1,0 \times 2 = 2,0$	$\varnothing 12^{+0,43}$
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	0,7	—	$\varnothing 10 \pm 0,35$
Циліндричний торцевий паз b=4H14 ^(+0,3) ; 5±0,1					
Розточування напівчистове	14	Ra12,1	0,3	4	4 ^{+0,3}
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	—	—	Суцільний матеріал

3.5. Визначення режимів різання

Розрахунки режимів різання технологічного процесу виготовлення деталі “Корпус” 738197.070 проведено аналітичними та табличними методами, оформлено у вигляді таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Режими різання технологічного процесу виготовлення деталі “Корпус” 738197.070

[illegible]

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Розточити попередньо внутрішню циліндричну поверхню 3, радіусну внутрішню поверхню 4 з остаточним підрізанням торця 5 по програмі послідовно, витримуючи розміри $\varnothing 374,04^{+0,36}$; $R72,27^{+0,19}$; $16 \pm 0,2$	1,65 1,0	25,15	1	60	0,6	251	295	151	0,169	6,0
Перехід 4										
Розточити остаточно внутрішню циліндричну поверхню 3, радіусну внутрішню поверхню 4, витримуючи розміри $\varnothing 374,5^{+0,14}$; $R72,5^{+0,074}$; $16 \pm 0,2$	0,23	22,2	1	60	0,08	451	532	37	0,64	0,17
Операція 010. Токарна з ЧПК										
Перехід 2 Підрізати остаточно торець 1, витримуючи розмір $42_{-0,62}$	1,1	143	1	60	0,78	251	275	197	0,74	5,95
Перехід 3 Розточити остаточно циліндричний торцевий паз 6, витримуючи розміри $4^{+0,3}$; $5 \pm 0,1$; $\varnothing 346_{-1,4}$	4,0	10	1	60	0,08	201	218	17	0,629	2,9
Операція 015. Програмна з ЧПК										
Перехід 2 Розсвердлити центральний отвір 9, витримуючи розмір $\varnothing 34^{+0,62}$	1,1	11,5	1	50	0,75	501	53,9	377	0,034	0,09

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перехід 3 Розточити два отвори 7, 8 послідовно по програмі, витримуючи розміри $\varnothing 45^{+0,62}$; $160 \pm 0,2$	1,1	9,5	2	40	0,15	1301	185	196	0,11	0,14
Перехід 4										
Центрувати сорок сім отворів 11, 12, 19-54, 96-99, 92, 93, 108, 109, 114 послідовно по програмі, витримуючи розміри $\varnothing 1,0^{+0,10}$; $\varnothing 2,12^{+0,12}$; 1,3; $0,97^{+0,06}$; $124 \pm 0,5$; $19 \pm 0,2$; $102 \pm 0,2$; $120 \pm 0,2$; $18 \pm 0,2$; $33 \pm 0,2$; $90 \pm 0,2$; $152 \pm 0,2$; $\varnothing 326 \pm 0,2$; $103 \pm 0,3$; $187 \pm 0,2$; $143 \pm 0,5$; $29 \pm 0,2$	0,5	5,27	47	15	0,12	2701	26,8	325	0,77	0,16
Перехід 5 Свердлити сорок отворів 11, 12, 19-54, 92, 93 з одночасним формуванням сорока фасок 13, 14, 55-91, 94, 95 послідовно по програмі, витримуючи розміри $\varnothing 2,5^{+0,25}$; $l=7$; $124 \pm 0,5$; $19 \pm 0,2$; $102 \pm 0,2$; $120 \pm 0,2$; $18 \pm 0,2$; $33 \pm 0,2$; $90 \pm 0,2$; $152 \pm 0,2$; $103 \pm 0,3$; $0,5 \times 45^\circ$	1,25	10,5	40	10	0,12	2001	15,8	241	1,76	0,03
Перехід 6 Свердлити шість отворів 96-99, 108, 109 під різь М4-7Н послідовно по програмі, витримуючи розміри $\varnothing 3,3^{+0,16}$; $\varnothing 326 \pm 0,2$; $l=9$; $187 \pm 0,2$	1,65	12,5	6	15	0,16	2001	20,8	321	0,24	0,04

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перехід 7 Свердлити отвір 114 під різь М6-7Н, витримуючи розміри $\varnothing 4,95^{+0,26}$; $l=9$; $143\pm 1,2$; $29\pm 0,5$	2,5	13	1	15	0,13	1401	23	184	0,074	1,81
Перехід 8										
Зенкувати сім фасок 100-103, 110, 111, 115 попередовно по програмі, витримуючи розміри $0,5\times 45^\circ$; $\varnothing 326\pm 0,2$; $33\pm 0,2$	0,5	3	7	15	0,1	1401	35,4	142	0,16	0,09
Перехід 9 Свердлити два отвори 15, 16 попередовно по програмі, витримуючи розміри $\varnothing 4,5^{+0,3}$; $260\pm 0,2$	2,25	11,5	2	15	0,13	1401	19,9	184	0,14	1,52
Перехід 10 Цекувати два отвори 17, 18 попередовно по програмі, витримуючи розміри $\varnothing 12^{+0,43}$; $l=12$; $260\pm 0,2$	1,0	16	2	25	0,2	1401	52,9	281	0,12	0,11
Перехід 11 Нарізати різь 104-107, 112, 113 в шести глухих отворах попередовно по програмі, витримуючи розміри М4-7Н; $l=6$; $\varnothing 326\pm 0,2$; $187\pm 0,2$	0,606	16,1	6	10	0,7	644	8	449	0,217	0,06
Перехід 12 Нарізати різь 116 в одному глухому отворі, витримуючи розміри М6-7Н; $l=7$; $143\pm 0,5$; $29\pm 0,2$	0,866	19	1	20	1,0	561	10,7	561	0,035	0,07

Закінчення таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Операція 020. Свердлильна з ЧПК										
Перехід 2 Розсвердлити отвір 10, витримуючи розміри $\varnothing 16,5^{+0,43}$; $82 \pm 0,3$; $107 \pm 0,3$	1,0	10,5	1	30	0,5	1001	53	501	0,024	0,11
Перехід 3										
Центрувати три отвори 117, 118, 119 послідовно по програмі, витримуючи розміри $\varnothing 1,0^{+0,10}$; $\varnothing 2,12^{+0,12}$; 1,3; $0,97^{+0,06}$; $43 \pm 0,3$; $122 \pm 0,5$; $12 \pm 0,2$; $14 \pm 0,2$	0,5	5,27	3	15	0,12	2701	26,8	325	0,051	0,17
Перехід 4 Свердлити три отвори 117, 118, 119 з одночасним формуван- ням трьох фасок 120, 121, 122 послідовно по програмі, витримуючи розміри $\varnothing 2,5^{+0,25}$; $l=7$; $43 \pm 0,3$; $122 \pm 0,5$; $12 \pm 0,2$; $14 \pm 0,2$	1,25	10,5	3	10	0,12	2001	15,8	241	0,14	0,04
Операція 025. Вертикально-свердлильна										
Перехід 2 Свердлити отвір 123, витримуючи розміри $\varnothing 8H14^{(+0,36)}$; $10 \pm 0,2$.	4,0	8	1	30	0,1	1401	36	141	0,07	1,5
Операція 030. Вертикально-свердлильна										
Перехід 2 Свердлити отвір 124, витримуючи розміри $\varnothing 6H14^{(+0,3)}$; $17 \pm 0,2$.	3,0	8	1	30	0,1	1401	27	141	0,065	1,4

Розрахунки технічних норм часу технологічного процесу виготовлення деталі “Корпус” 738197.070 проведено аналітичними та табличними методами подано у вигляді таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Розрахунки технічних норм часу технологічного процесу виготовлення деталі “Корпус” 738197.070

Номер та назва операції	T _о , хв	Допоміжний час, T _д хв			T _{оп} , хв	Час обслуговування, T _{об} , хв			T _{шт} , хв.	T _{п.з.} , хв.	n, шт	T _{шт.к.} , хв
		T _{у.}	T _{пер}	T _{вим}		T _{тех.об.}	T _{орг.об.}	T _{відп.}				
005 Токарна з ЧПК	0,853	—	—	—	—	—	—	—	—	—	359	1,83
010 Токарна з ЧПК	1,355	—	—	—	—	—	—	—	—	—		2,9
015 Програмна ЧПК	3,582	0,12	0,44	2,034	6,16	0,8624			11,47	73,34		7,22
020 Свердлильна ЧПК	0,201	—	—	—	—	—	—	—	—	—		0,35
025 Вертикально-свердлильна	0,06	—	—	—	—	—	—	—	—	—		0,09
030 Вертикально-свердлильна	0,06	—	—	—	—	—	—	—	—	—		0,09

3.6. Розрахунок пристосування

З метою закріплення та базування деталі “Корпус” 738197.070 на 015 програмній з ЧПК операції на свердлильно-фрезерно-розточному верстаті з ЧПК спроектовано спеціальне пристосування.

Креслення запропонованого пристрою відображено у графічній частині роботи та у додатках.

Для визначення похибки установки заготовки у вказаному пристрої застосовано відоме рівняння [11]:

$$\Delta \epsilon_y = \sqrt{\Delta \epsilon_6^2 + \Delta \epsilon_3^2 + \Delta \epsilon_{np}^2} . \quad (3.4)$$

На операції 015 програмній з ЧПК при обробленні отворів потрібно забезпечити їх точне взаємне розташування та розміщення в межах допуску відносно контуру корпусу. Точність взаємного розміщення отворів забезпечуються точністю позиціонування верстата з ЧПК. Точність розміщення отворів в межах допуску відносно контуру корпусу визначається 14 квалітетом і дорівнює відхиленню до 0,4 мм.

На рисунку 3.3 представлено схему для розрахунку похибки базування деталі.

Похибка базування [11]:

$$\Delta \varepsilon_{\delta} = S_{\max}, \quad (3.5)$$

де $S_{\max}$ – максимальний зазор між оправкою та отвором.

Максимальний зазор між оправкою та поверхнею отвору:

$$S_{\max} = D_{\max.d.} - d_{\min.w}, \quad (3.6)$$

де $D_{\max.d.}$ – максимальний розмір отвору, мм;

$d_{\min.w}$ – мінімальний розмір оправки, мм.

$$D_{\max.d.} = D_{\text{nom.d.}} + ES_d \quad (3.7)$$

де $D_{\text{nom.d.}}$ – номінальний розмір отвору, мм;

ES_d – верхнє відхилення отвору деталі, мм.

$$d_{\min.w} = d_{\text{nom.w}} + ei_w, \quad (3.8)$$

де $d_{\text{nom.w}}$ – номінальний розмір оправки, мм;

ei_w – нижнє відхилення розміру оправки, мм.

Базуючий отвір деталі $\varnothing 374,5\text{H}9(+0,14)$.

Базуючий діаметр оправки – $\varnothing 374,5\text{f}7(-0,062_{-0,119})$.

Визначаємо максимальний зазор:

$$D_{\text{max.d.}} = 374,5 + 0,14 = 374,64 \text{ мм.}$$

$$d_{\text{min.w}} = 374,5 + (-0,119) = 374,381 \text{ мм.}$$

$$S_{\text{max.}} = 374,64 - 374,381 = 0,259 \text{ мм.}$$

Тоді, похибка базування дорівнює:

$$\Delta \varepsilon_{\text{бр.}} = 0,259 \text{ мм.}$$

Похибка закріплення $\Delta \varepsilon_z = 100 \text{ мкм.}$

Похибка пристосування $\Delta \varepsilon_{\text{пр}} = 0,02 \text{ мм.}$

Підставляючи дані у рівняння (3.4), одержуємо:

$$\Delta \varepsilon_y = \sqrt{\Delta \varepsilon_6^2 + \Delta \varepsilon_3^2 + \Delta \varepsilon_{\text{пр}}^2} = \sqrt{0,259^2 + 0,1^2 + 0,02^2} = 0,278 \text{ мм.}$$

Допустима похибка установки $\Delta \varepsilon_{\text{у.доп.}}$ корпуса визначається 14 квалітетом і дорівнює відхиленню до 0,4 мм.

$$\Delta \varepsilon_{\text{у.доп.}} = 0,4 \text{ мм.} \quad (3.9)$$

Отже, $\Delta \varepsilon_y = 0,278 \text{ мм} < \Delta \varepsilon_{\text{у.доп.}} = 0,4 \text{ мм.}$ і при цьому забезпечується необхідна точність оброблення корпуса на програмній з ЧПК операції.

Розрахункову схему затиску деталі “Корпус” 738197.070 на 015 програмній з ЧПК операції при розточуванні отвору $\varnothing 45 \text{ мм}$ представлено на рис. 3.5.

Момент різання $M_{\text{різ}}$ має бути меншим-рівним за момент тертя $M_{\text{тр}}$ при закріпленні заготовки для забезпечення її надійного затиску із коефіцієнтом запасу K .

Записуємо рівняння рівноваги заготовки згідно схеми рис. 3.5:

$$P_{\text{зат}1} \cdot f_1 \cdot R + P_{\text{зат}2} \cdot f_1 \cdot R + \frac{2P_{\text{зат}} f_2 \cdot (R_2^3 - R_1^3)}{3(R_2^2 - R_1^2)} = K \cdot M_{\text{різ}} , \quad (3.10)$$

де $f_1=0,2$;

$R= 185$ мм;

$f_2 =0,2$;

$R_1=187,25$ мм;

$R_2=190,25$ мм.

Коефіцієнт запасу $K=3,7$ [16].

Під час розточування отвору $\varnothing 45$ мм визначаємо крутний момент різання за формулою [16]:

$$M_{\text{різ}} = P_z \cdot r , \quad (3.11)$$

де P_z - сила різання під час розточування;

r - радіус розточування, $r=0,0225$ м.

Визначаємо силу різання [16]:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p , \quad (3.12)$$

де $C_p = 40$; $x = 1,0$; $y = 0,75$; $n = 0$ [16];

$t = 1,1$ мм;

$S = 0,08$ мм/об;

$V = 445$ м/хв;

$K_p = 1$;

$$P_z = 10 \cdot 40 \cdot 1,1^{1,0} \cdot 0,08^{0,75} \cdot 445^0 = 10 \cdot 40 \cdot 1,1 \cdot 0,15 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 66 \text{ Н.}$$

Тоді:

$$M_{\text{різ}} = 66 \cdot 0,0225 = 1,485 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Отже, силу затиску визначаємо із рівняння (3.10), при умові, що сили затиску на двох прихватах однакові:

$$P_{\text{зат}} = \frac{K \cdot M_{\text{різ}}}{2 \cdot f_1 \cdot R + 2f_2 \cdot \frac{R_2^3 - R_1^3}{3(R_2^2 - R_1^2)}}, \quad (3.13)$$

$$P_{\text{зат}} = \frac{3,7 \cdot 1485}{2 \cdot 0,2 \cdot 185 + 2 \cdot 0,2 \cdot \frac{190,25^3 - 187,25^3}{3(190,25^2 - 187,25^2)}} = 49,2 \text{ Н.}$$

Сила штовхання на штоці пневмоциліндра [11]:

$$F_{\text{шт.тяг.}} = 0,785 \cdot D_{\text{ц}}^2 \cdot p \cdot \eta, \quad (3.14)$$

$$F_{\text{шт.тяг.}} = 0,785 \cdot 0,05^2 \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot 0,9 = 706,5 \text{ Н.}$$

Сила затиску заготовки від пневмоциліндра через важільний механізм [11]:

$$W = F_{\text{шт.тяг.}} \cdot \frac{l_1}{l_2} \cdot \eta, \quad (3.15)$$

де $l_1 = 50 \text{ мм}$;

$l_2 = 55 \text{ мм}$; $\eta = 0,9$.

$$\text{Тоді } W = 706,5 \cdot \frac{50}{55} \cdot 0,9 = 578 \text{ Н.}$$

При умові $W = 578 \text{ Н} > P_{\text{зат}} = 49,2 \text{ Н}$, забезпечено вимогу надійного закріплення заготовки на 015 операції.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Розробка засобів захисту від статичної електрики виробничого обладнання

Основні заходи, що використовуються для захисту від статичної електрики виробничого походження включають методи, що виключають або зменшують інтенсивність генерації зарядів, і методи, що знімають утворені заряди. Інтенсивність генерації зарядів можна зменшити відповідним підбором пар тертя або змішуванням матеріалів таким чином, що в результаті тертя один із змішаних матеріалів створює заряд одного знаку, а інший – протилежного. В даний час створений комбінований матеріал з нейлону і дакрону, що забезпечує захист від статичної електрики за цим принципом.

Зміною технологічного режиму обробки матеріалів також можна добитися зниження кількості зарядів, що генеруються (зменшення швидкостей обробки, швидкостей транспортування і зливу діелектричних рідин, зменшення сил тертя).

При заповненні сипкими речовинами або рідинами (діелектриками) резервуарів на вході в них застосовують ємності релаксацій, частіше всього у вигляді заземленої ділянки трубопроводу збільшеного діаметра, що забезпечує стікання всього заряду статичної електрики в землю.

Заряди утвореної статичної електрики усувають частіше всього шляхом заземлення електропровідних частин виробничого обладнання. Опір такого заземлення повинен бути не більше 100 Ом. При неможливості встановлення пристрою заземлення практикується підвищення відносної вологості повітря в приміщенні. Також збільшують об'ємну провідність діелектрика, для чого в нього вносять графіт, ацетиленову сажу, алюмінієву пудру, а в рідкі діелектрики – спеціальні добавки. Для ряду машин і агрегатів знайшли застосування нейтралізатори статичної електрики (коронного розряду, радіоізотопні, аеродинамічні і комбіновані). У всіх типах цих пристроїв шляхом іонізації

повітря поблизу елемента конструкції, що накопичує заряд статичної електрики, утворюються іони, у тому числі із знаком, протилежним знаку заряду, що і викликає його нейтралізацію.

До засобів індивідуального захисту від статичної електрики відносяться електростатичні халати і спеціальне взуття, підошва якого виконана з шкіри або електропровідної гуми, а також антистатичні браслети.

Значно більшу небезпеку представляє атмосферна статична електрика, ефективним засобом захисту від якого є захист від блискавок. Вона включає комплекс заходів і пристроїв, призначених для забезпечення безпеки людей, запобіганню вибухів, загорянь і руйнувань будівель, споруд, обладнання і матеріалів від вибухів, можливих при дії блискавок.

Для всіх будівель і споруд, не пов'язаних з виробництвом і зберіганням вибухових речовин, а також для ліній електропередач і контактних мереж проектування і виготовлення захисту від блискавок повинне виконуватися згідно «Інструкції по захисту від блискавок будівель і споруд».

Для створення зон захисту застосовують одиночний стрижньовий громовідвід; подвійний стрижньовий громовідвід; багатократний стрижньовий громовідвід; одиночний або подвійний тросовий громовідвід. Контроль за засобами забезпечення електробезпеки, і зокрема за відповідністю їх вимогам безпеки, покладений на службу головного енергетика і електриків підрозділів.

4.2. Дослідження стійкості роботи промислового об'єкта

В ході дослідження стійкості роботи об'єкта визначаються умови захисту робітників та службовців від уражаючих факторів, проводиться оцінка уразливості виробничого комплексу від різних уражаючих факторів, оцінюється характер можливих пошкоджень від вторинних уражаючих факторів, вивчається стійкість роботи системи постачання та кооперативних зв'язків з іншими об'єктами, з'ясовуються вразливі місця в системі управління виробництвом [29]. Кожна група оцінює стійкість відповідних елементів виробничого комплексу та

робить необхідні розрахунки. Група комплексних досліджень (керівник - головний інженер) входять керівники всіх груп. Робить загальну оцінку стійкості роботи об'єкту. Група досліджень стійкості будівель та споруд (керівник - начальник відділу капітального будівництва) на основі аналізу характеристик і стану виробничих будинків та споруд: визначає ступінь їх стійкості до дії уражаючих факторів; оцінює розміри можливої шкоди від дії вторинних уражаючих факторів; проводить розрахунки сил і засобів, необхідних для відновлення виробничих споруд при різних ступенях руйнування.

Крім того, група досліджує та оцінює захисні властивості захисних споруд, визначає необхідну їх кількість на території об'єкта та в заміській зоні. Група досліджень стійкості виробничого обладнання (керівник - головний механік) оцінює стійкість технологічних ліній, верстатів та механізмів і визначає: можливі втрати верстатів, приладів і систем автоматичного управління при різних ступенях пошкодження; способи збереження і захисту особливо цінного обладнання; потребу в силах і засобах, терміни та обсяги відновних робіт; можливості створення резерву обладнання та порядок його використання.

Група дослідження стійкості технологічного процесу (керівник - головний технолог) оцінює стійкість технологічного процесу для чого: уточнює заходи переведення об'єкту на режим роботи в умовах надзвичайної ситуації (НС); визначає найбільш вразливі ділянки технологічної лінії; розробляє варіанти зміни технологічного процесу при нестачі сировини; оцінює можливості і терміни безаварійної зупинки виробництва за сигналом "Повітряна тривога" або при раптовому припиненні подачі електроенергії.

Група досліджень стійкості систем енергозабезпечення (керівник - головний енергетик) оцінює: стійкість системи електро-, газо- та водопостачання, каналізації та можливість переведення котелень на інші види палива; нормативно-необхідні та мінімальні потреби з кожного виду енергії; основні та додаткові джерела енергопостачання, можливості внутрішніх та зовнішніх джерел; стійкість заводських комунікацій; наявність та можливості автономних джерел енергопостачання; характер можливих аварій і можливість виникнення

вторинних факторів ураження та їх наслідки; можливі варіанти підвищення стійкості роботи систем енергопостачання; варіанти відновлення систем енергопостачання при різних ступенях ураження об'єкта; можливість підключення до сусідніх трансформаторних підстанцій.

Група досліджень стійкості матеріально-технічного постачання і транспорту (керівник - начальник відділу матеріально-технічного постачання): аналізує систему забезпечення виробничого процесу всім необхідним для випуску продукції в умовах НС; оцінює умови відправки продукції і стійкості роботи транспорту; обґрунтовує необхідність і створює додаткові запаси сировини, обладнання, комплектуючих виробів, а також визначає місця їх зберігання; вивчає стійкість існуючих зв'язків з постачальниками та користувачами; складає розрахунки на потрібну кількість будівельних та інших матеріалів для відновлення виробництва і будівництва сховищ на об'єкті.

Служба оповіщення і зв'язку вивчає та оцінює стійкість зв'язку з органами цивільного захисту, виробничими підрозділами і формуваннями цивільного захисту. Оцінює надійність системи зв'язку і оповіщення, повноту обладнання пунктів управління. Служба сховищ і укрить оцінює інженерний захист робітників і службовців, правильність експлуатації сховищ і укрить, готовність їх до використання за прямим призначенням. Розраховує час на оповіщення робітників і службовців, збір та укриття їх в захисних спорудах.

Служба радіаційного та хімічного захисту оцінює можливості роботи об'єкта в умовах погіршення радіаційної обстановки і дає пропозиції щодо захисту робітників і службовців від радіоактивного забруднення, визначає типові режими радіаційного захисту людей. Аналізує забезпеченість робітників і службовців засобами індивідуального захисту, умови зберігання та порядок їх видачі. Готує пропозиції щодо організації та ведення радіаційної і хімічної розвідки, організації санітарної обробки людей, знезараження одягу, транспорту, техніки і споруд.

Медична служба розробляє заходи щодо організації медичного обслуговування робітників та службовців на об'єкті. Визначає сили і засоби для

надання першої медичної допомоги потерпілим. Розробляє рекомендації з організації дозиметричного контролю у разі перебуванні людей у зоні радіоактивного забруднення та рекомендації щодо захисту продуктів харчування і джерел водопостачання.

Служба охорони громадського порядку розробляє заходи з підсилення пропускового режиму, охорони матеріальних цінностей, забезпечення громадського порядку.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розроблено інструмент для завальцьовування кульок у циліндричних лунках плоских поверхонь, представлено його конструкцію. Проведено дослідження методом кінцевих елементів напружено-деформованого стану деталей інструмента для завальцьовування кульок при дії зусилля деформування тонкостінного циліндричного елемента заготовки в напрямку до поверхні кульки.

Встановлено, що величини напружень та деформацій, що виникають у конічному ролику, на осі, на якій обертаються ролики та корпусі інструмента лінійно залежать від величини зовнішньої нормальної та тангенціальної сил деформування циліндричної поверхні заготовки. Мінімальна величина напружень у конічному ролику дорівнює 27 МПа, а максимальна – 108 МПа. Мінімальна величина напружень в осі, на якій обертаються ролики дорівнює 14 МПа, а максимальна – 52 МПа. Мінімальна величина деформації конічного ролика дорівнює 0,003 мм, а максимальна – 0,012 мм. Мінімальна величина деформації корпусу інструмента дорівнює 0,001 мм, а максимальна – 0,004 мм.

Місцями, що мають найменший запас міцності є конічні ролики а також нижня частина осі, на якій обертаються ролики.

Одержані величини не перевищують границю текучості матеріалів конічних роликів для завальцьовування кульки, осі, на якій обертаються ролики, корпусу інструмента і не суттєво впливають на точність завальцьовування кульок.

Представлено результати експериментальних досліджень осьової сили завальцьовування кульок у циліндричних тонкостінних лунках.

Визначено, що найбільший вплив на осьову силу F завальцьовування кульки має товщина стінки тонкостінної циліндричної заготовки s . Менший вплив має кут деформування α і найменший - зовнішній діаметр D тонкостінної циліндричної заготовки. При збільшенні кута деформування α , товщини стінки тонкостінної циліндричної заготовки s осьова силу F завальцьовування кульки зростає, а при збільшенні діаметра D тонкостінної циліндричної заготовки –

зменшується.

Максимальне значення осьової сили F завальцювання кульки становить 875 Н, а мінімальне – 392 Н. Збільшення кута деформування α від 10 град до 30 град призводить до зростання осьової сили F завальцювання кульки в 1,29 рази., збільшення товщини стінки тонкостінної циліндричної заготовки s від 0,8 мм до 1,2 мм призводить до зростання осьової сили F завальцювання кульки в 1,52 рази, а збільшення діаметра D тонкостінної циліндричної заготовки від 10 мм до 14 мм призводить до зменшення осьової сили F завальцювання кульки в 1,29 рази.

Розроблено технологічний процес виготовлення корпусу 738197.070.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кухарський О. М., Кушак І. В. Методичний посібник до курсового проекту по курсу “Технологія машинобудування”. Тернопіль, 2001. 58 с.
2. Пилипець М.І., Комар Р.В. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин. Тернопіль, 2019. 58 с.
3. Паливода Ю. Є. Заготовки у машинобудівному виробництві : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2023. 148 с.
4. Боженко Л. І. Технологія виробництва заготовок у машинобудуванні. Київ: НМК ВО, 1990. 264 с.
5. Добрянський С. С., Малафєєв Ю. М. Методичні вказівки до лабораторних занять та самостійної роботи з дисципліни «Проектування та виробництво заготовок» Частина І. Розробка креслення та технології виготовлення литої заготовки. К.: НТУУ «КПІ», 2012. 71 с.
6. Кухарський, О. М., Кузьмін М. І. Визначення припусків табличним методом. Тернопіль : Видавництво ТДТУ, 2004. 135 с.
7. Паливода Ю. Є., Кухарський О. М. Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом, Тернопіль, 2003. 81 с.
8. Розмірні ланцюги: навчально-методичний посібник / Укладачі : Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Капаціла Ю.Б, Ткаченко І.Г. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – 132 с.
9. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б., Гевко Ів. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.
10. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з дисциплін “Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин ” та “Технологія машинобудування” для студентів спеціальностей 131 “Прикладна механіка” і 133 “Галузеве машинобудування” на тему “Структура технологічного процесу. Принципи побудови технологічних операцій” / Укладачі : Паливода Ю.Є., Дячун А.Є. - Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 53 с.

11. Дячун А. Є. Методичний посібник з виконання курсового проекту з дисципліни «Технологія обробки типових деталей та складання машин» / А. Є. Дячун, Ю. Б. Капаціла, Ю. Є. Паливода, І. Г. Ткаченко. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 75 с.
12. Заховайко О. П., Костюченко В. В., Манзик Н. В. Дослідження конструкційної міцності та роботоспроможності опори кулькової вільного переміщення за статичного і динамічного навантаження. *Journal of Mechanical Engineering NTUU" Kyiv Polytechnic Institute"*. 2012. (65). С. 5-9.
13. Жидецький В. Ц., Джигирей В. Ц., Мельников О. В. Основи охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 350 с.
14. Жидецький В. Ц. Практикум із охорони праці : Навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 349 с.
15. <https://victory.in.ua/ua/p32479166-sharikovye-opory.html>
16. Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки : навчальний посібник. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.
17. Маслянка В.М., Кубах В.-Н.В., Волинець С.Я. Дослідження крутного моменту нарізання торцевої канавки. Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів "Актуальні задачі сучасних технологій": 11-12 грудня 2024 р.: тези доп. Тернопіль: вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2024. С. 42.
18. <https://www.bridge-bearings.co.uk/products/ball-transfer-units/>
19. Ivan Hevko, Andrii Diachun, Oleg Lyashuk, Yuriy Vovk, Andriy Hupka Study of Dynamic and Power Parameters of the Screw Workpieces with a Curved Profile Turning. Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange. IV. DSMIE 2021. Springer, Cham. P. 385-394.
20. Дичковський М. Г. Технологічна оснастка. Проектно-конструкторські розрахунки пристосувань: навч. посіб. Тернопіль : ТДТУ, 2001. 277 с.
21. Andriy Diachun, Vasyl Vasylyuk, Oleg Korol, Volodymyr Myhailiuk, Ivan Golovaty, Andriy Kuras. Investigation of geometrical parameters in screw surfaces whirling process. Вісник Тернопільського національного технічного університету. 2021. №

1(101). С. 68–78.

22. Oleg Lyashuk, Andrii Diachun, Ivan Kuchvara, Yuriy Vovk, Volodymyr Dzyura. Study of power parameters of forming profile elliptical screw workpieces. The International Journal of Integrated Engineering. Universiti Tun Hussein Onn Malaysia Publisher's Office, 2021. Vol. 13 No. 4. P. 142-151.

23. Ляшук О.Л., Дячун А.Є., Третьяков О.Л. Дослідження деформації заготовки в процесі нарізання зовнішніх радіусних канавок пристроєм із декількома різцями. Перспективні технології та прилади. Зб. наук. праць. Луцьк, 2018. Вип. 12. С. 105-110.

24. Крук В., Дячун А., Гевко І., Гупка А., Клендій В., Кучвара, І. Дослідження технологічного процесу завальцювання кульок у направляючих транспортних механізмах. Вісник ТНТУ. 2011. Том 16. № 4. С. 101-106.

25. Дзюра В., Логущ І, Гевко І, Крук В. Визначення силових характеристик процесу вальцювання кульок у направляючі. Вісник ТНТУ. 2010. Том 15. № 3. С. 75-80.

26. Alves. M, Almeida. B, Rosa. P, Martins. P. End forming of thin-walled tubes, J. Mater. Process. Technol. 2006. 177-1. P. 183-187.

27. Zoghi. H, Fullahi. A, Sayeefabi. M. Effect of feed and roller contact start point on strain and residual stress distribution in dome forming of steel tube by spinning at an elevated temperature, Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf. 2012. 226. P. 1880-1890.

28. Oba, W., Imaizumi, Y., Kajikawa, S., Kuboki, T. Two-step forming for improvement of forming limit in rotary nosing with relieved die for reduction of tube tip. Procedia engineering. 2017. 207. P. 1743-1748.

29. Стручок В.С. “Техноекоелогія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Навчальний посібник. Тернопіль, 2022. 150 с.