

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 738197.141 з
дослідженням процесу довбання канавок

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

(шифр і назва спеціальності)

Тримбашевський М.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Радик Д.Л.
(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 738197.141 з дослідженням процесу довбання канавок”.

У кваліфікаційній роботі проведено дослідження динаміки довбання перервних внутрішніх канавок. На основі попереднього літературного аналізу розроблено приведену систему динамічної моделі у вигляді механічно пов’язаних елементів із зосередженими масами, до якої включено різець прямий для довбання із твердосплавною пластиною, різцетримач, заготовка із попередньо розточеними радіальними канавками, пристрій для закріплення заготовки. Усі елементи прийнято пов’язаними пружними зв’язками з постійними коефіцієнтами жорсткості та коефіцієнтами демпфування.

Використовуючи рівняння Лагранжа другого роду, виведено систему диференціальних рівнянь, що дозволяють прогнозувати коливання складових системи динамічної моделі у вигляді механічно пов’язаних елементів із зосередженими масами.

Розв’язок системи диференціальних рівнянь проведено чисельним методом із застосуванням прикладного програмного забезпечення та представлено графічними залежностями зміни в часі: величини лінійної деформації різця, кута повороту заготовки, закріпленої у пристрої, величини лінійного переміщення заготовки, швидкості лінійної деформації різця, швидкості повороту заготовки, закріпленої у пристрої, швидкості лінійного переміщення заготовки.

Вдосконалено технологічний процес виготовлення корпусу 738197.141.

ЗМІСТ

Вступ	
1 Аналітична частина	
1.1. Аналіз стану питання.....	
1.2. Висновки та постановка завдань.....	
2 Науково-дослідна частина	
2.1. Дослідження динаміки довбання перервних внутрішніх канавок.....	
2.2. 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

Під час виконання технологічних процесів виготовлення або ремонту деталей машин в умовах дрібносерійного або одиничного виробництва виникає необхідність у довбанні канавок різноманітної форми, зокрема на перервних поверхнях, що включають сформовані на попередніх операціях канавки, отвори тощо.

Особливості взаємодії поверхні перервного отвору, на якому нарізаються канавки та різців для довбання створюють передумови для дослідження динаміки процесу довбання перервних внутрішніх канавок. Процес довбання перервних внутрішніх канавок можна охарактеризувати як періодичні зміни ударів між різцем, що закріплений у різцетримачі довбального верстата та перервною поверхнею отвору.

Отже, згаданий процес різання включає складні періодичні ударні процеси, що чергуються із процесами зрізання матеріалу. Тому цей процес потрібно вивчати, використовуючи фундаментальні закони динаміки із формуванням динамічної моделі та диференціального числення з виведенням відповідних рівнянь, розв'язок яких дозволяє прогнозувати коливання елементів розробленої приведеної системи.

Тому дослідження процесу довбання канавок є актуальним завданням.

Актуальним є також розроблення технологічного процесу виготовлення корпусу 738197.141.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Аналіз стану питання

Довбання це процес механічної обробки горизонтальних, вертикальних та нахилених плоских або контурних поверхонь, канавок, використовуючи різці. При цьому зворотно-поступальний рух може здійснювати заготовка або ріжучий інструмент (рис. 1.1).

Основний механізм виконання цього процесу подібний до токарної обробки, при якій матеріал також зрізається схожим різцем. Також є схожість у процесі формуванні стружки. Проте ця операція відрізняється від токарної обробки тим, що процес різання є перервним, усунення стружки відбувається тільки при руху інструменту або заготовки вперед, при цьому умови різання є складнішими ніж при токарній обробці, навіть якщо інструмент має можливість охолоджуватись при зворотному ході без виконання різання.

Основною причиною цього є те, що інструмент працює в умовах ударних навантажень. Для таких умов верстати та інструменти проектується із підвищеною жорсткістю та точністю. При цьому швидкість різання не перевищує 60 м/хв. Тому інструменти із кераміки та кубічного нітриду бору, що мають низьку стійкість при ударних навантаженнях, не використовуються при довбанні. Часто застосовуються матеріали нижчої вартості і такі, що легко піддаються переточуванню, зокрема швидкорізальна сталь, сплави карбідів.

Порівняно із токарною обробкою довбання має низьку продуктивність, що пов'язано з обмеженою швидкістю різання а також із втратами часу на зворотній холостий хід інструменту. Проте продуктивність та точність довбання можна підвищити, застосовуючи багатоінструментальні наладки.

На рисунку 1.2 представлено параметри процесу різання та кінематичні параметри довбання. Основними параметрами процесу різання є середня швидкість різання v_c при робочому ході, подача f , глибина різання t та площа поперечного зрізу A_c . Подачею є перервний відносний рух інструменту або

заготовки в напрямку перпендикулярному руху різання і визначається в міліметрах на хід. Виконується в кінці ходу повернення інструменту за межами заготовки.

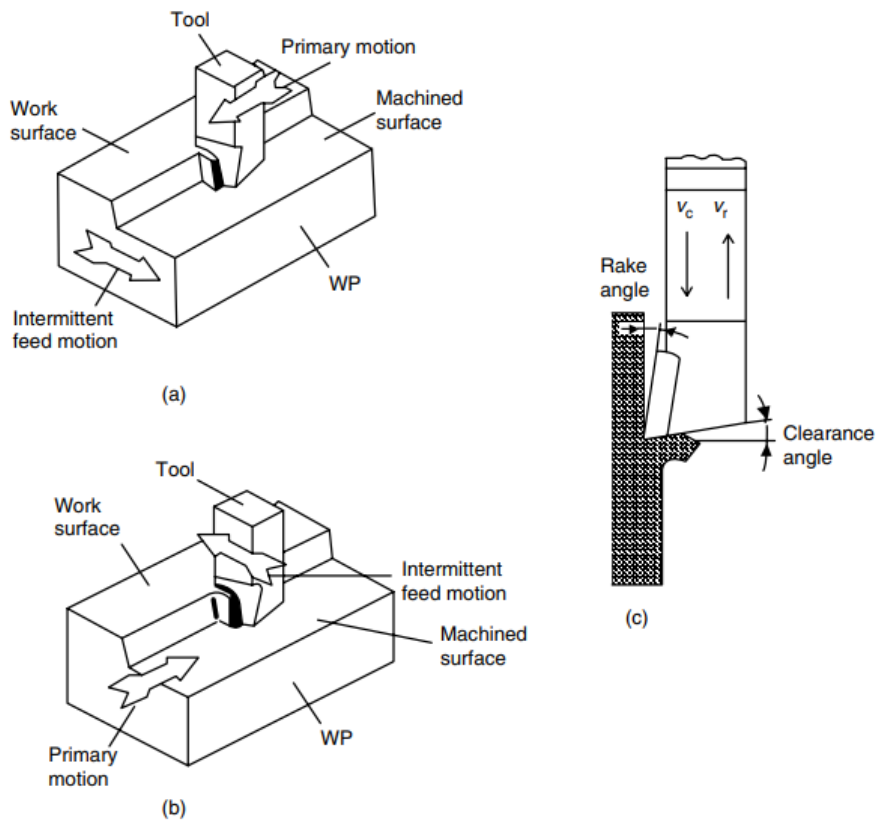


Рисунок 1.1 – Основні види і рухи процесу довбання [12]

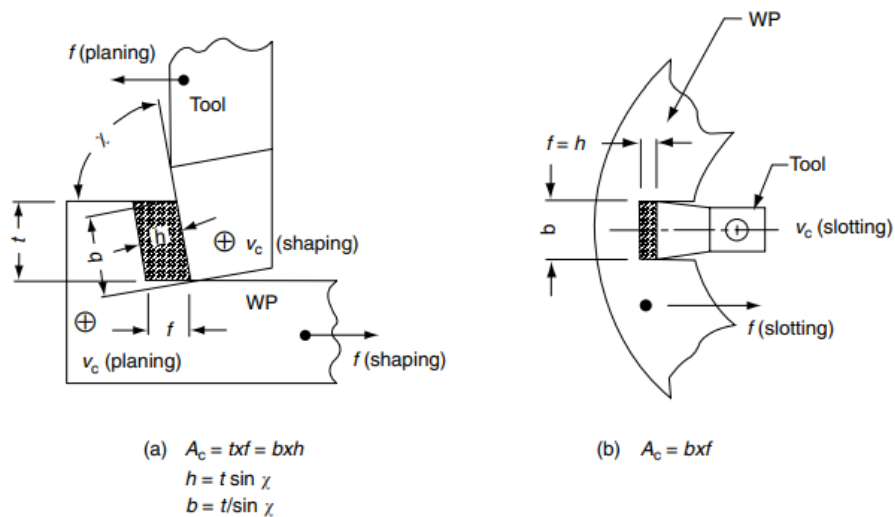


Рисунок 1.2 - Параметри процесу різання та кінематичні параметри довбання [12]

Основними приводами руху інструмента на довбальних верстатах є гідравлічний із постійною швидкістю різання (рис. 1.3,а), важільні (рис. 1.3,б), із механічною передачею зубчасте колесо рейка (рис. 1.3,с), із шатунним механізмом (рис. 1.3,д).

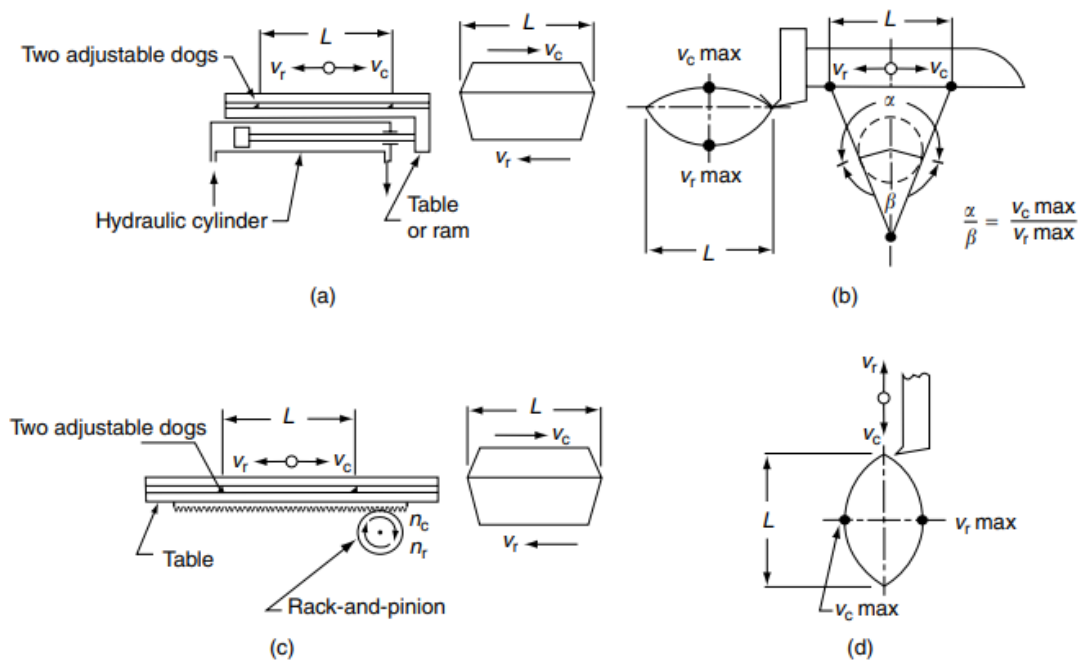


Рисунок 1.3 - Основні приводи руху інструмента на довбальних верстатах [12]

Особливостями різців для довбання є те, що вони повинні мати високу точність та протидіяти ударним навантаженням. На рисунку 1.4 представлено типові інструменти, що використовуються при довбанні: чорновий різець із прямою державкою (рис. 1.4,а), відігнутий чорновий різець (рис. 1.4,б), різець бокового різання (рис. 1.4 с), різець для фінішної обробки (рис. 1.4 д), фінішний інструмент із широкою ріжучою кромкою (рис. 1.4, е), різець для канавок (рис. 1.4, ф), різець для Т-подібних канавок (рис. 1.4, г), різець із відігнутою державкою (рис. 1.4, h).

У роботі [15] проведено дослідження процесу довбання в отворах внутрішніх канавок із малим кутом нахилу α відносно центральної осі (рис. 1.5). Проведено проектування спеціальних пристроїв, здійснено дослідження силових параметрів процесу та якості оброблених поверхонь.

Для формоутворення таких канавок (рис. 1.6) крім вертикального переміщення різця 3 необхідне кутове зміщення різцевого блоку або заготовки 2, що відповідає куту нахилу канавки.

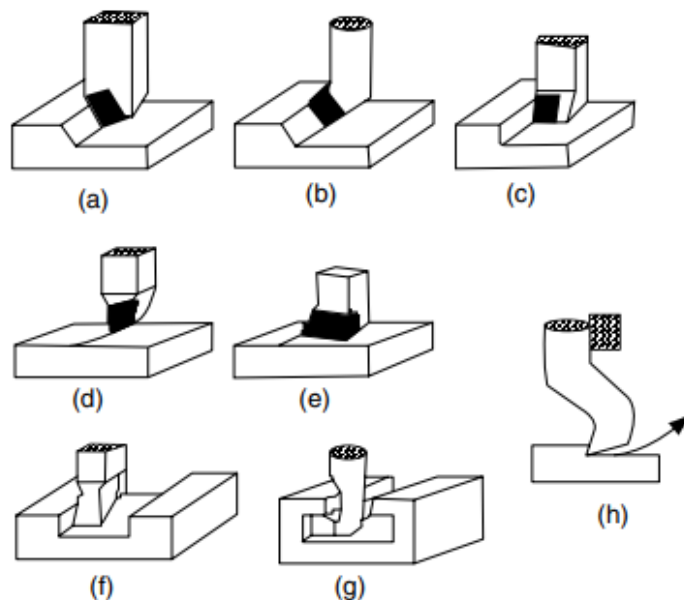


Рисунок 1.4 - Типові інструменти, що використовуються при довбанні [12]

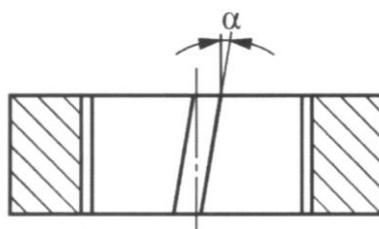


Рисунок 1.5 - Внутрішня канавка із малим кутом нахилу α відносно центральної осі [15]

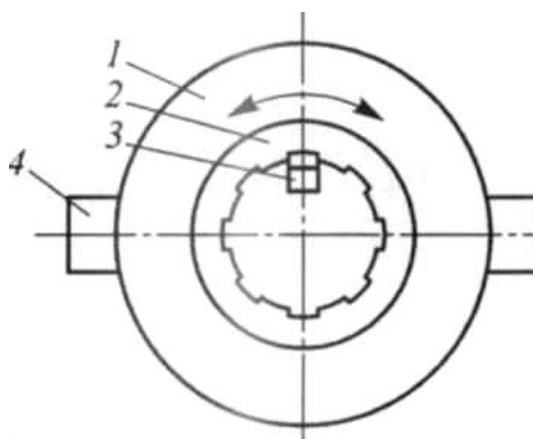
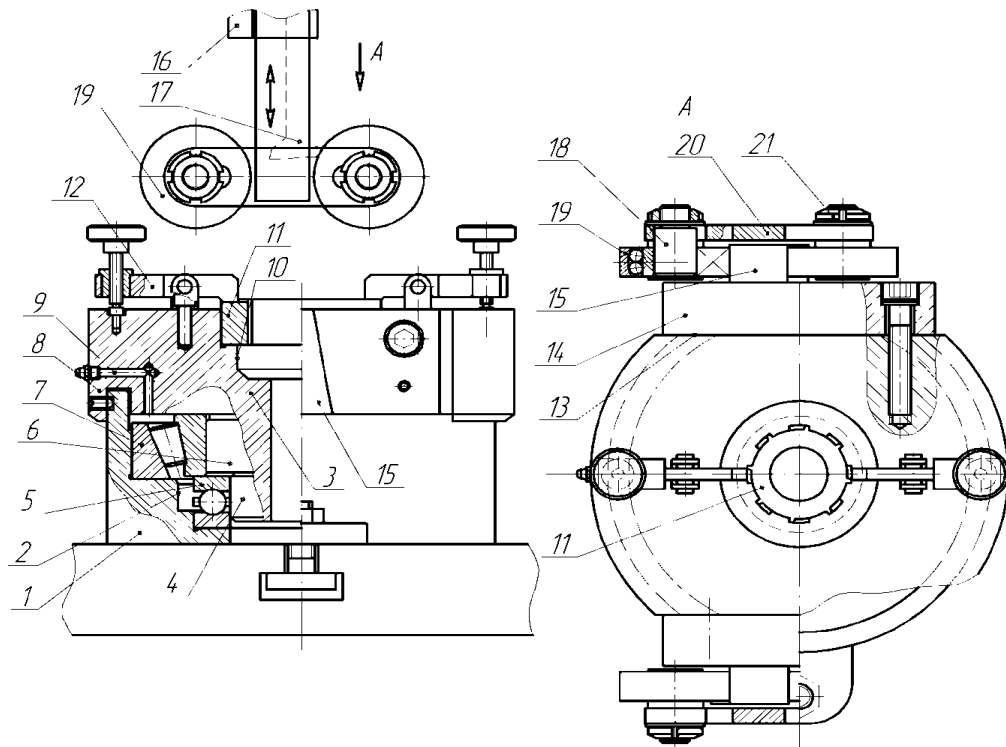


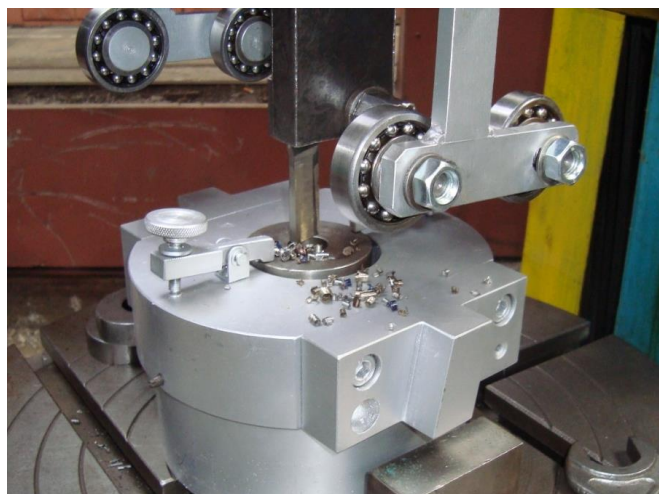
Рисунок 1.6 - Технологічна схема довбання нахилених канавок [15]

Для цього на пристрої 1 для кріплення заготовки застосовують поворотні елементи 4, як це показано на технологічній схемі додання нахилених канавок рис. 1.6.

Для виконання технологічної схеми додання нахилених канавок (рис. 1.6) у роботі [15] представлено спеціальний пристрій, що представлено на рис. 1.7.



а)



б)

Рисунок 1.7 - Пристрій для додання нахилених канавок а) конструктивна схема, б) процес нарізання канавки [15]

Особливістю цього пристрою є те, що при довбанні канавки здійснюється обертання заготовки за рахунок копіїв, що розміщені на пристрої для кріплення заготовки а також двох підшипників кочення, що подаються в напрямку деталі разом із різцем та повертають пристрій разом із заготовкою.

Також для виконання технологічної схеми довбання нахилених канавок (рис. 1.6) у роботі [15] представлено спеціальний пристрій (рис. 1.8), що виконує одночасне прямолінійне та кутове переміщення різця при довбанні канавки.

У роботі [15] представлено результати повнофакторних експериментальних досліджень сили різання при довбанні нахилених канавок у заготовках із матеріалів: сталь 45, чавун СЧ20 і алюмінієвий сплав АК12. Основними змінними параметрами були: подача різця s , ширина канавки B та передній кут γ різця для довбання.

При цьому одержано рівняння регресії для прогнозування сили різання:

- для заготовок із сталі 45 [15]:

$$P_{(s,B,\gamma)}^{45} = -713,45 + 296,5s + 118,88B + 71,5 \cdot \gamma + 2421,7sB - 296,92s\gamma - 11,92B\gamma \quad ; \quad (1.1)$$

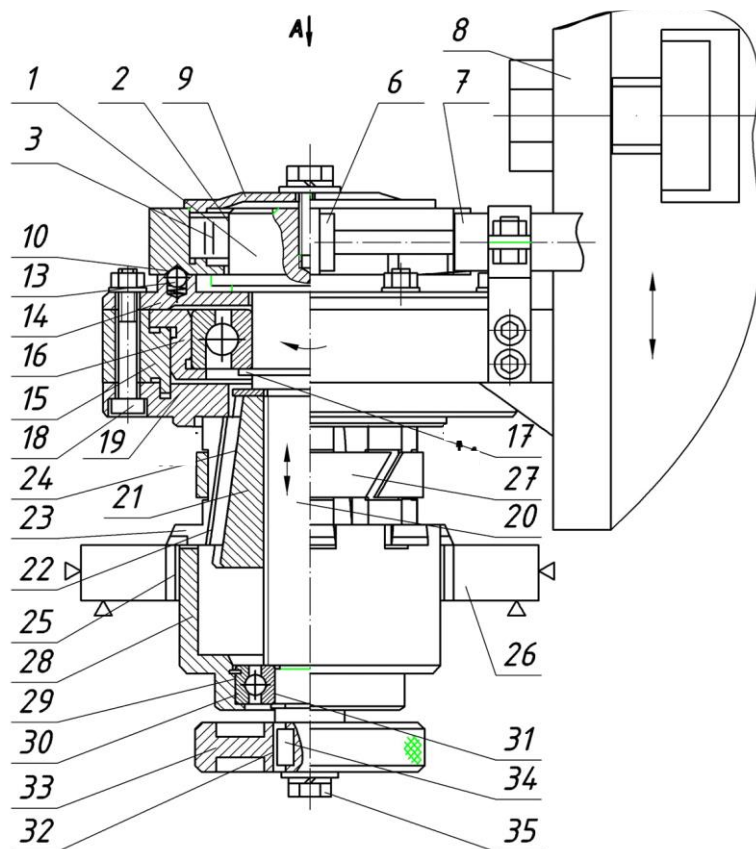
- для заготовок із сірого чавуну СЧ20 [15]:

$$P_{(s,B,\gamma)}^{СЧ} = -695,5 + 1315,83s + 115,95B + 66,25\gamma + 1485,42sB - 95,83s\gamma - 11,38B\gamma \quad ; \quad (1.2)$$

- для заготовок із алюмінієвого сплаву АК12 [15]:

$$P_{(s,B,\gamma)}^{АК12} = -107,4 + 450s + 17,9B + 10,8\gamma + 485sB - 45s\gamma - 1,8B\gamma \quad . \quad (1.3)$$

Вказані рівняння (1.1 – 1.3) дають можливість адекватно прогнозувати силу різання при довбанні в межах таких змінних параметрів: $0,18 \leq s \leq 0,3$ (мм/дв. хід); $4 \leq B \leq 8$ (мм); $8 \leq \gamma \leq 12$ (град).



Вид А

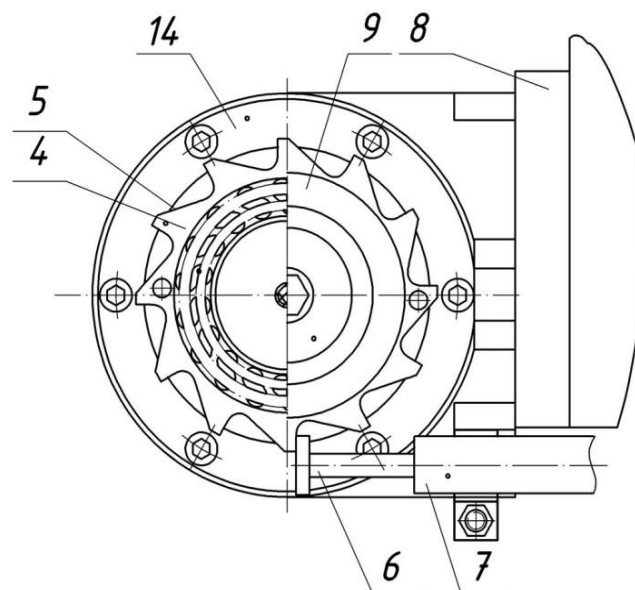


Рисунок 1.8 - Спеціальний пристрій, що виконує одночасне прямолінійне та кутове переміщення різця при довбанні канавки [15]

Поверхню відгуку залежності сили різання при довбанні нахилених канавок у заготовках із матеріалу сталь 45 представлено на рис. 1.9.

Шорсткість обробленої поверхні канавки довбанням можна визначити за

емпіричною формулою [15]:

$$Ra = 37,3 \frac{S^{1,93} \cdot \gamma^{0,27}}{V^{0,11} \cdot t^{0,12} \cdot \rho^{0,8}} \quad (1.4)$$

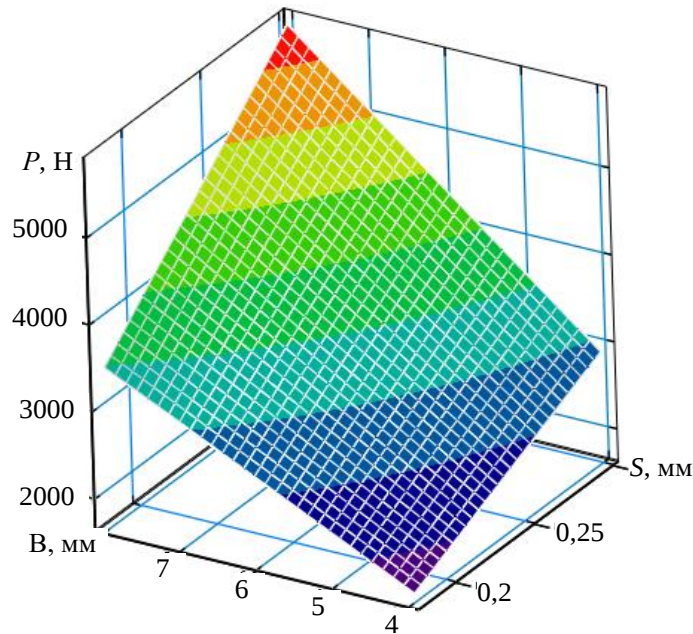


Рисунок 1.9 - Поверхня відгуку залежності сили різання при довбанні нахилених канавок у заготовках із матеріалу сталь 45 ($\gamma=10^\circ$) [15]

Для чистового оброблення нахилених канавок доцільно використовувати інструмент, що може одночасно обробляти декілька канавок за один хід (рис. 10).

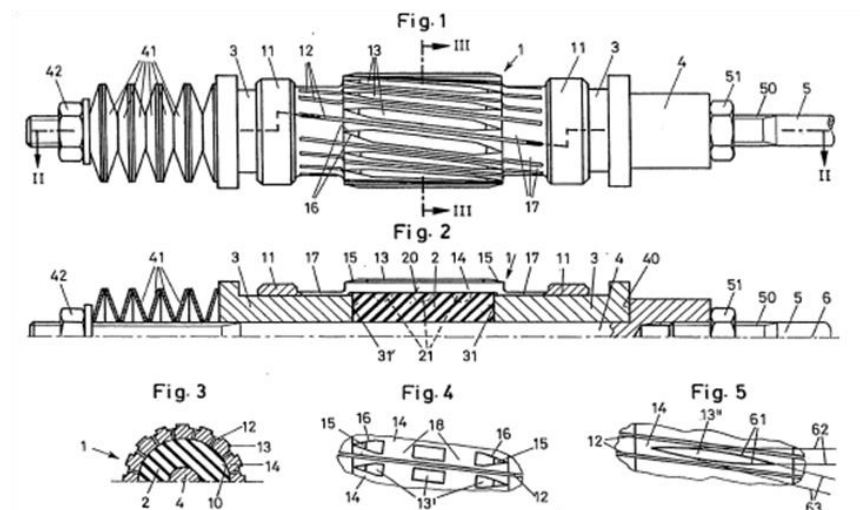


Рисунок 1.10 – Інструмент для чистового оброблення нахилених канавок [15]

Для дослідження процесу довбання канавок у роботі [18] використано метод кінцевих елементів. Твердотільна модель дослідження представлена на рис. 1.11. Мінімальний адаптований розмір сітки кінцевих елементів дорівнював $1/3$ від величини подачі інструменту. Для забезпечення достатньої точності моделювання використано модель властивостей матеріалу, критерії формування стружки та виникнення тріщин, модель тертя між стружкою та інструментом, поділ сітки кінцевих елементів.

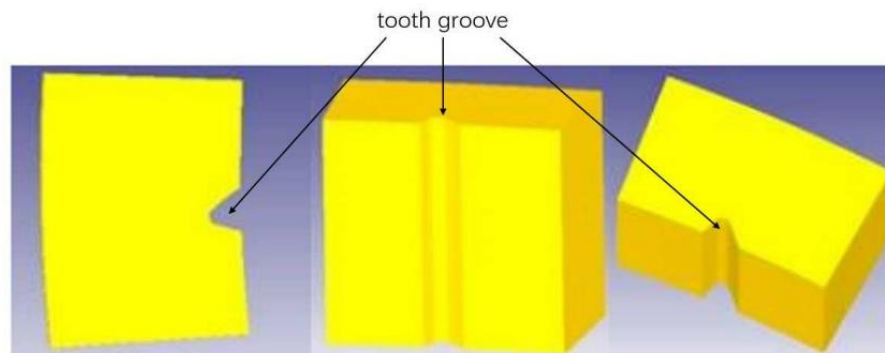


Рисунок 1.11 – Твердотільна модель дослідження процесу довбання канавок методом кінцевих елементів [18]

Стружка, що одержана в результаті моделювання процесу довбання схожа за формою та характеристиками деформації на стружку, що одержується при реальному процесі різання (рис. 1.12).

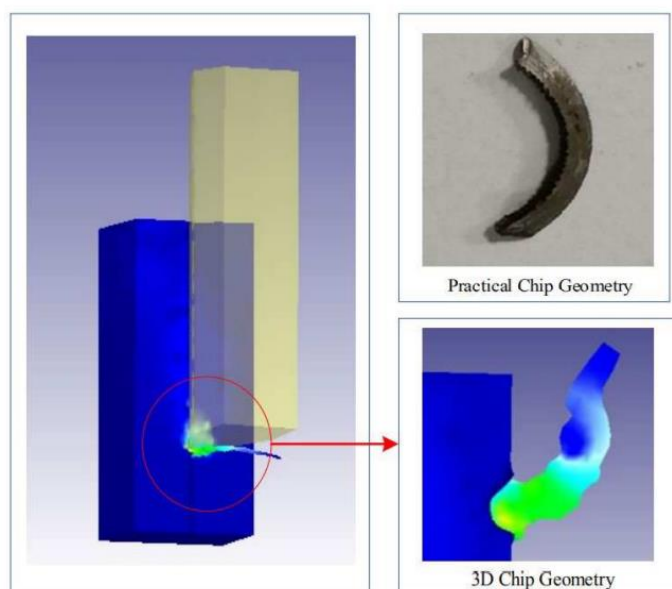


Рисунок 1.12 – Порівняння стружки, одержаної в результаті моделювання методом кінцевих елементів та реального процесу довбання канавки [18]

Моделювання процесу довбання виконувалось при таких режимах різання: швидкість різання 200 ходів за хвилину, подача 2 мм/хід, глибина різання 4 мм. Залежність головної сили різання від часу представлено на рис. 1.13. Із рисунка можна побачити, що спочатку відбувається швидке зростання сили різання при різкому врізанні інструменту у заготовку, потім здійснюється коливання сили різання через неоднорідність процесу, пов'язану із вібраціями та неоднорідною деформацією заготовки в процесі різання. На кінці робочого ходу відбувається різке зменшення сили різання через зменшення кількості матеріалу, що піддається зрізанню. Вкінці руху сила різання дорівнює нулю.

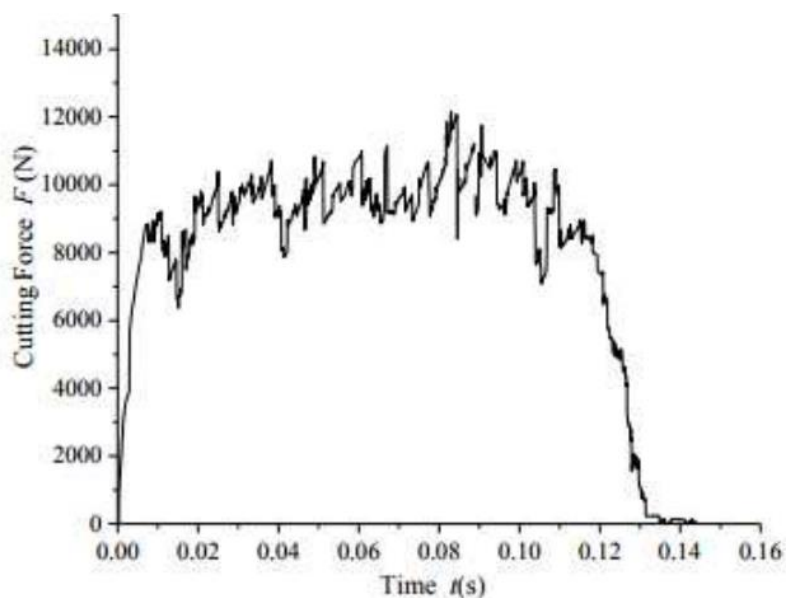


Рисунок 1.13 – Залежність головної сили різання від часу при довбанні [18]

Результати моделювання температурних параметрів довбання на інструменті та заготовці представлено на рис. 1.14 та 1.15.

Із рис. 1.14 можна побачити швидке зростання температури різця та заготовки в момент врізання інструменту. При виконанні процесу різання величина температури різця та заготовки здійснює відносно стабільне коливання. При виході інструменту із зони різання відбувається різке зниження температури обох елементів. Максимальне значення температури заготовки досягало величини 466 °С, а різця - 267°С.

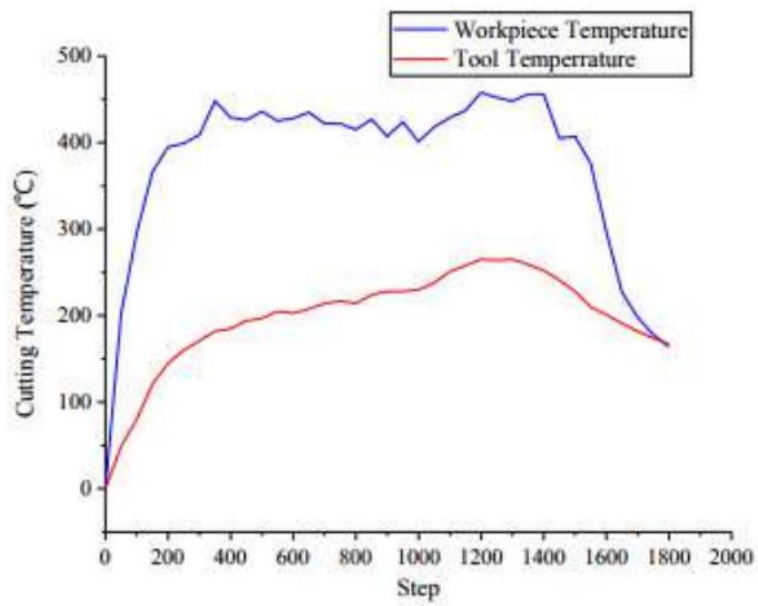


Рисунок 1.14 – Результати моделювання температурних параметрів довбання на інструменті та заготовці [18]

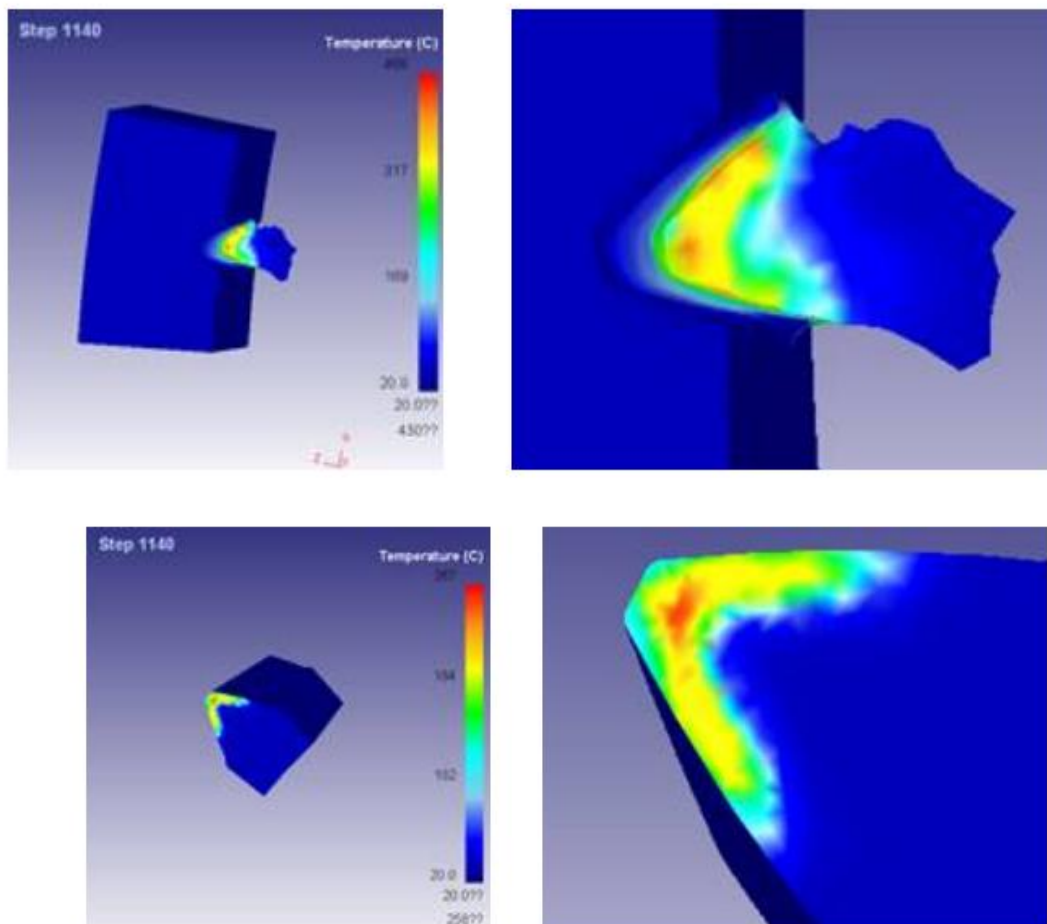


Рисунок 1.14 – Розподіл температури на заготовці а) та інструменті б) при довбанні канавки [18]

1.2. Висновки та постановка завдань

Процес довбання є перервним процесом різання, при цьому усунення стружки відбувається тільки при русі інструменту або заготовки вперед, а умови різання є складнішими ніж при токарній обробці, навіть якщо інструмент має можливість охолоджуватись при зворотному ході без виконання різання. Основною причиною цього є те, що інструмент працює в умовах ударних навантажень. Для таких умов верстати та інструменти проектується із підвищеною жорсткістю та точністю.

Для формоутворення нахилених канавок крім вертикального переміщення різця необхідне кутове зміщення різцевого блоку або заготовки, що відповідає куту нахилу канавки.

У кваліфікаційній роботі вирішуються такі завдання:

1. Провести дослідження динаміки довбання перервних внутрішніх канавок.
2. Розробити схему механічно пов'язаних елементів для дослідження динаміки довбання перервних внутрішніх канавок.
3. Використовуючи рівняння Лагранжа другого роду, вивести систему диференціальних рівнянь, що дозволяють прогнозувати коливання складових системи динамічної моделі процесу довбання канавки.
4. Розв'язати систему диференціальних рівнянь чисельним методом із застосуванням прикладного програмного забезпечення та представити графічними залежностями.
5. Вдосконалити відомий технологічний процес виготовлення корпусу 738197.141.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1. Дослідження динаміки довбання перервних внутрішніх канавок

Під час виконання технологічних процесів виготовлення або ремонту деталей машин в умовах дрібносерійного або одиничного виробництва виникає необхідність у довбанні канавок різноманітної форми, зокрема на перервних поверхнях, що включають сформовані на попередніх операціях канавки, отвори тощо. При цьому канавки можуть розташовуватись перпендикулярно до торцевих поверхонь або під кутом α .

Особливості взаємодії поверхні перервного отвору, на якому нарізаються канавки та різців для довбання створюють передумови для дослідження динаміки процесу довбання перервних внутрішніх канавок. Процес довбання перервних внутрішніх канавок можна охарактеризувати як періодичні зміни ударів між різцем, що закріплений у різцетримачі довбального верстата та перервною поверхнею отвору при врзанні у заготовку а також врзання в місцях попередньо сформованих радіальних канавок. Отже, згаданий процес різання включає складні періодичні ударні процеси, що чергуються із процесами зрізання матеріалу. Тому цей процес потрібно, використовуючи фундаментальні закони динаміки із формуванням ідеалізованої динамічної моделі та диференціального числення з виведенням відповідних рівнянь, розв'язок яких дозволяє прогнозувати коливання елементів розробленої приведеної системи. До складу динамічної моделі внесені елементи, що мають найменшу жорсткість і найбільше впливають на формування поверхневого шару обробленої поверхні довбанням: різець прямий для довбання із твердосплавною пластиною, різцетримач, заготовка із попередньо розточеними радіальними канавками, пристрій для закріплення заготовки. Особливість довбання канавок, що розміщені під кутом α відносно торця заготовки є те, що різець подається в зону різання також під кутом α , а заготовка здійснює обертовий рух.

Процес довбання перервних внутрішніх канавок відноситься до перехідних динамічних процесів. На основі попереднього літературного аналізу розроблено приведену систему динамічної моделі у вигляді механічно пов'язаних елементів із зосередженими масами (рис. 2.1), до якої включено різець прямий для довбання із твердосплавною пластиною, різцетримач, заготовка із попередньо розточеними радіальними канавками, пристрій для закріплення заготовки. Усі елементи прийнято пов'язаними пружними зв'язками з постійними коефіцієнтами жорсткості та коефіцієнтами демпфування.

На рисунку 2.1 зображено механічно пов'язані елементи із зосередженими масами для дослідження динаміки довбання перервних внутрішніх канавок: I_1 – сумарний момент інерції заготовки закріпленої у пристрої; m_1 – маса заготовки із попередньо розточеними радіальними канавками; m_2 – маса пристрою для закріплення заготовки; m_3 – маса різця прямого для довбання, m_4 – маса різцетримача.

Крім цього на рисунку 2.1 умовно позначені приведені коефіцієнти жорсткості елементів системи та їх коефіцієнти демпфування: C_1 - приведена крутильна жорсткість заготовки із попередньо розточеними радіальними канавками, що закріплена у пристрої довбального верстата; k_{4x} , k_{4z} - приведені лінійні жорсткості різцетримача довбального верстата у напрямках осей x та z відповідно; k_{12x} , k_{12z} - приведені лінійні жорсткості заготовки із попередньо розточеними радіальними канавками у напрямках осей x та z відповідно; k_{34x} , k_{34z} - приведені лінійні жорсткості різця прямого для довбання канавок у напрямках осей x та z відповідно; k_{2x} , k_{2z} - приведені лінійні жорсткості пристрою для закріплення заготовки у напрямках осей x та z відповідно.

Також на рисунку 2.1 умовно позначені приведені коефіцієнти демпфування: β_1 - приведений коефіцієнт демпфування крутильних коливань заготовки із попередньо розточеними радіальними канавками, що закріплена у пристрої довбального верстата.

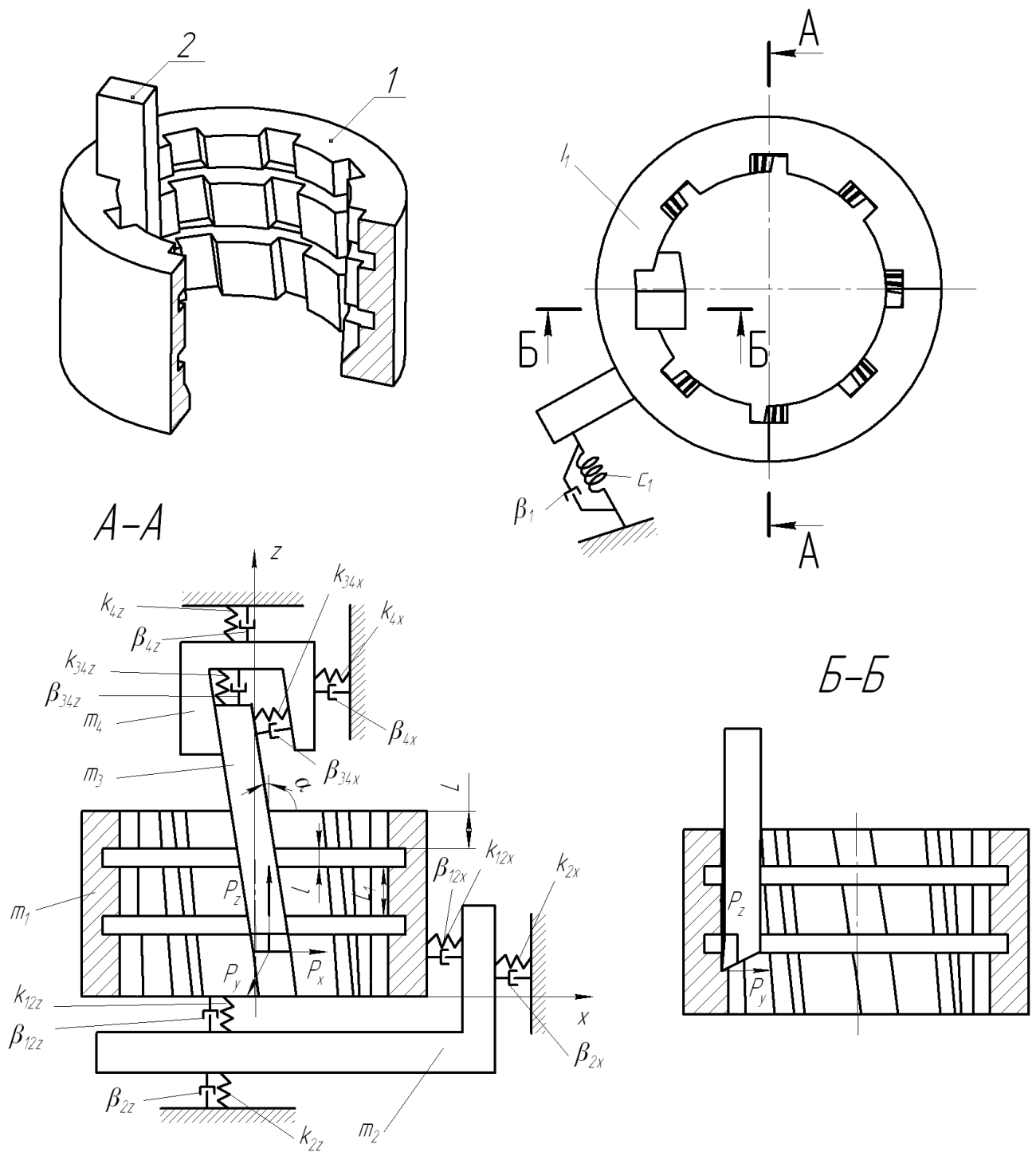


Рисунок 2.1 - Приведена схема механічно пов'язаних елементів для дослідження динаміки довбання перервних внутрішніх канавок: 1 - заготовка із попередньо розточеними радіальними канавками, 2 - різець прямий для довбання

β_{4x} , β_{4z} - приведені коефіцієнти демпфування лінійних коливань різцетримача довбального верстата у напрямках осей x та z відповідно; β_{12x} , β_{12z} - приведені

коефіцієнти демпфування лінійних коливань заготовки із попередньо розточеними радіальними канавками у напрямках осей x та z відповідно; β_{34x} , β_{34z} - приведені коефіцієнти демпфування лінійних коливань різця прямого для довбання канавок у напрямках осей x та z відповідно; β_{2x} , β_{2z} - приведені коефіцієнти демпфування лінійних коливань пристрою для закріплення заготовки у напрямках осей x та z відповідно.

На заготовку з моментом інерції I_1 та масою m_1 із попередньо розточеними радіальними канавками, що закріплена у пристрої довбального верстата та на різець прямий із масою m_3 в процесі довбання канавки діють складові сили різання в ортогональній системі координат $P_x(t)$, $P_z(t)$, $P_y(t)$ та сила ударів $P_u(t)$ між різцем та заготовкою при врізанні різця у заготовку а також при врізанні в місцях попередньо сформованих радіальних канавок.

Під час врізання прямого різця для довбання у поверхню заготовки із торця а також у внутрішні перервні поверхні поступово зростає глибина різання t_p , при цьому відбувається їх ударна взаємодія, при виході різця для довбання із контакту із заготовкою глибина різання t_p поступово зменшується до нуля, тому складові сили різання $P_x(t)$, $P_z(t)$, $P_y(t)$ мають змінний характер у часі за величиною. При врізанні довбального різця у заготовку відбувається їх поступове зростання з досягненням максимального значення, що дорівнює силі різання при усталеному процесі довбання на прямолінійних ділянках. Відповідно, при виході різця для довбання із контакту із заготовкою відбувається їх поступове зменшення до нуля.

Максимальні значення складових сили різання $P_x(t)$, $P_z(t)$, $P_y(t)$ при усталеному процесі довбання на прямолінійних ділянках можна визначити за відомими емпіричними залежностями [20]:

$$P_x = 10 \cdot C_{Px} \cdot t_p^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_x, \quad (2.1)$$

$$P_y = 10 \cdot C_{Py} \cdot t_p^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_y, \quad (2.2)$$

$$P_z = 10 \cdot C_{Pz} \cdot t_p^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_z, \quad (2.3)$$

де t_p - глибина різання;

S - подача на подвійний хід;

V - швидкість різання.

Також у формулах використано степені та поправочні коефіцієнти, що одержуються при аналізі результатів експериментальних досліджень.

Час контакту різця для довбання із прямолінійною ділянкою заготовки:

$$t_K = \frac{L}{V}, \quad (2.4)$$

де L – довжина прямолінійної ділянки заготовки, на якій здійснюється довбання канавки, м.

Час до виникнення другого удару між різцем для довбання та поверхнею радіальної канавки від моменту врізання різця у заготовку:

$$t_1 = \frac{L + l}{V}, \quad (2.5)$$

де l – ширина радіальної канавки, м.

Час до виникнення третього удару між різцем для довбання та поверхнею радіальної канавки від моменту врізання різця у заготовку:

$$t_2 = \frac{L + 2l + L_1}{V}, \quad (2.6)$$

де L_1 – відстань між радіальними канавками, м.

Для приведеної системи динамічної моделі у вигляді механічно пов'язаних елементів із зосередженими масами (рис. 2.1) вибрано узагальнені координати: кут повороту заготовки, закріпленої у пристрої φ_1 ; лінійні переміщення елементів системи: $x_1, x_2, x_3, x_4, z_1, z_2, z_3, z_4$.

Формула для визначення кінетичної енергії механічної системи:

$$T = \frac{I_1 \cdot \dot{\varphi}_1^2}{2} + \frac{m_1 \cdot \dot{x}_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot \dot{x}_2^2}{2} + \frac{m_3 \cdot \dot{x}_3^2}{2} + \frac{m_4 \cdot \dot{x}_4^2}{2} + \frac{m_1 \cdot \dot{z}_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot \dot{z}_2^2}{2} + \frac{m_3 \cdot \dot{z}_3^2}{2} + \frac{m_4 \cdot \dot{z}_4^2}{2}. \quad (2.7)$$

Формула для визначення потенціальної енергії механічної системи:

$$\Pi = \frac{C_1 \cdot \varphi_1^2}{2} + \frac{k_{12x} \cdot (x_2 - x_1)^2}{2} + \frac{k_{34x} \cdot (x_4 - x_3)^2}{2} + \frac{k_{2x} \cdot x_2^2}{2} + \frac{k_{4x} \cdot x_4^2}{2} + \frac{k_{12z} \cdot (z_2 - z_1)^2}{2} + \frac{k_{34z} \cdot (z_4 - z_3)^2}{2} + \frac{k_{2z} \cdot z_2^2}{2} + \frac{k_{4z} \cdot z_4^2}{2}. \quad (2.8)$$

Формула для визначення функції розсіювання механічної системи:

$$F = \frac{\beta_1 \cdot \dot{\varphi}_1^2}{2} + \frac{\beta_{12x} \cdot (\dot{x}_2 - \dot{x}_1)^2}{2} + \frac{\beta_{34x} \cdot (\dot{x}_4 - \dot{x}_3)^2}{2} + \frac{\beta_{2x} \cdot \dot{x}_2^2}{2} + \frac{\beta_{4x} \cdot \dot{x}_4^2}{2} + \frac{\beta_{12z} \cdot (\dot{z}_2 - \dot{z}_1)^2}{2} + \frac{\beta_{34z} \cdot (\dot{z}_4 - \dot{z}_3)^2}{2} + \frac{\beta_{2z} \cdot \dot{z}_2^2}{2} + \frac{\beta_{4z} \cdot \dot{z}_4^2}{2}. \quad (2.9)$$

Використовуємо рівняння Лагранжа другого роду для розрахунку зміщень елементів механічної системи:

- для крутного коливання заготовки закріпленої у пристрої:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_1} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_1} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_1} = R(P_x(t) + P_u(t)), \quad (2.10)$$

де R – відстань від центра заготовки до вершини різця при довбанні канавки.

- для лінійних коливань елементів системи:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{x}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial x_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{x}_n} = P_x(t) + P_u(t), \quad (2.11)$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{z}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial z_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{z}_n} = P_z(t) + P_u(t). \quad (2.12)$$

Використовуємо рівняння Лагранжа другого роду (2.10), (2.11) та (2.12) та рівняння (2.7), (2.8) та (2.9), виведено систему диференціальних рівнянь, що дозволяють прогнозувати коливання складових системи динамічної моделі у вигляді механічно пов'язаних елементів із зосередженими масами (рис. 2.1):

$$\begin{aligned}
I_1 \cdot \ddot{\phi}_1 + C_1 \cdot \phi_1 + \beta_1 \cdot \dot{\phi}_1 &= R(P_x(t) + P_u(t)); \\
m_1 \cdot \ddot{x}_1 - k_{12x} \cdot (x_2 - x_1) - \beta_{12x} \cdot (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) &= P_x(t) + P_u(t); \\
m_2 \cdot \ddot{x}_2 + k_{2x} \cdot x_2 + \beta_{2x} \cdot \dot{x}_2 + k_{12x} \cdot (x_2 - x_1) + \beta_{12x} \cdot (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) &= 0; \\
m_3 \cdot \ddot{x}_3 - k_{34x} \cdot (x_4 - x_3) - \beta_{34x} \cdot (\dot{x}_4 - \dot{x}_3) &= P_x(t) + P_u(t); \\
m_4 \cdot \ddot{x}_4 + k_{4x} \cdot x_4 + \beta_{4x} \cdot \dot{x}_4 + k_{34x} \cdot (x_4 - x_3) + \beta_{34x} \cdot (\dot{x}_4 - \dot{x}_3) &= 0; \\
m_1 \cdot \ddot{z}_1 - k_{12z} \cdot (z_2 - z_1) - \beta_{12z} \cdot (\dot{z}_2 - \dot{z}_1) &= P_z(t) + P_u(t); \\
m_2 \cdot \ddot{z}_2 + k_{2z} \cdot z_2 + \beta_{2z} \cdot \dot{z}_2 + k_{12z} \cdot (z_2 - z_1) + \beta_{12z} \cdot (\dot{z}_2 - \dot{z}_1) &= 0; \\
m_3 \cdot \ddot{z}_3 - k_{34z} \cdot (z_4 - z_3) - \beta_{34z} \cdot (\dot{z}_4 - \dot{z}_3) &= P_z(t) + P_u(t); \\
m_4 \cdot \ddot{z}_4 + k_{4z} \cdot z_4 + \beta_{4z} \cdot \dot{z}_4 + k_{34z} \cdot (z_4 - z_3) + \beta_{34z} \cdot (\dot{z}_4 - \dot{z}_3) &= 0.
\end{aligned} \tag{2.13}$$

Для розв'язку системи диференціальних рівнянь (2.13) розглянуто граничні умови при першому контакті між різцем для довбання та заготовкою, тобто в момент врізання та удару, при для початкового часу $t = 0$ дійсні такі початкові умови:

$$\begin{aligned}
\phi_1(0) = 0, \quad x_1(0) = 0, \quad x_2(0) = 0, \quad x_3(0) = 0, \quad x_4(0) = 0, \\
z_1(0) = 0, \quad z_2(0) = 0, \quad z_3(0) = 0, \quad z_4(0) = 0, \\
\dot{\phi}_1(0) = 0, \quad \dot{x}_1(0) = 0, \quad \dot{x}_2(0) = 0, \quad \dot{x}_3(0) = 0, \quad \dot{x}_4(0) = 0, \\
\dot{z}_1(0) = 0, \quad \dot{z}_2(0) = 0, \quad \dot{z}_3(0) = 0, \quad \dot{z}_4(0) = 0.
\end{aligned} \tag{2.14}$$

Враховуючи те, що на початку контакту різця для довбання та торцевої поверхні заготовки, а також поверхонь радіальних канавок відбувається короткочасне ударне навантаження, а сила різання зростає до максимального

значення і спадає до нуля при виході різця із поверхні заготовки, ці параметри апроксимовано зростаючою і спадаючою лінійними залежностями.

Для цього використано алгебологічну функцію [25]:

$$F_i(t) = \left(\frac{t_K}{2} - \left| \frac{t_K}{2} - (t - t_i) \right| \right) \cdot k_2, \quad (2.15)$$

де k_2 - коефіцієнт, що відповідає куту нахилу графіка зміни складових сили різання в ортогональній системі координат $P_x(t)$, $P_z(t)$, $P_y(t)$ та сили ударів $P_u(t)$;

t_i – час до виникнення удару між різцем для довбання та поверхнею радіальної канавки від моменту врізання різця у заготовку.

Використовуючи рівняння (2.15), сумарні проекції сили різання при довбанні канавок на заготовці представлено залежностями:

$$P_{zi}(t) = \frac{F_i(t) + P_z - |F_i(t) - P_z| + |F_i(t) + P_z - |F_i(t) - P_z||}{4}. \quad (2.16)$$

$$P_{xi}(t) = \frac{F_i(t) + P_x - |F_i(t) - P_x| + |F_i(t) + P_x - |F_i(t) - P_x||}{4}. \quad (2.17)$$

Функції, що описують періодичність взаємодії різця із поверхнею заготовки та радіальних канавок визначено за формулами:

$$P_z(t) = \sum_{i=1}^n P_{zi}(t); \quad (2.18)$$

$$P_x(t) = \sum_{i=1}^n P_{xi}(t). \quad (2.19)$$

Графік зміни сили різання та ударів при одному переході різця під час довбання канавки у заготовці із радіальними канавками та із застосуванням функції (2.19) представлено на рисунку 2.2.

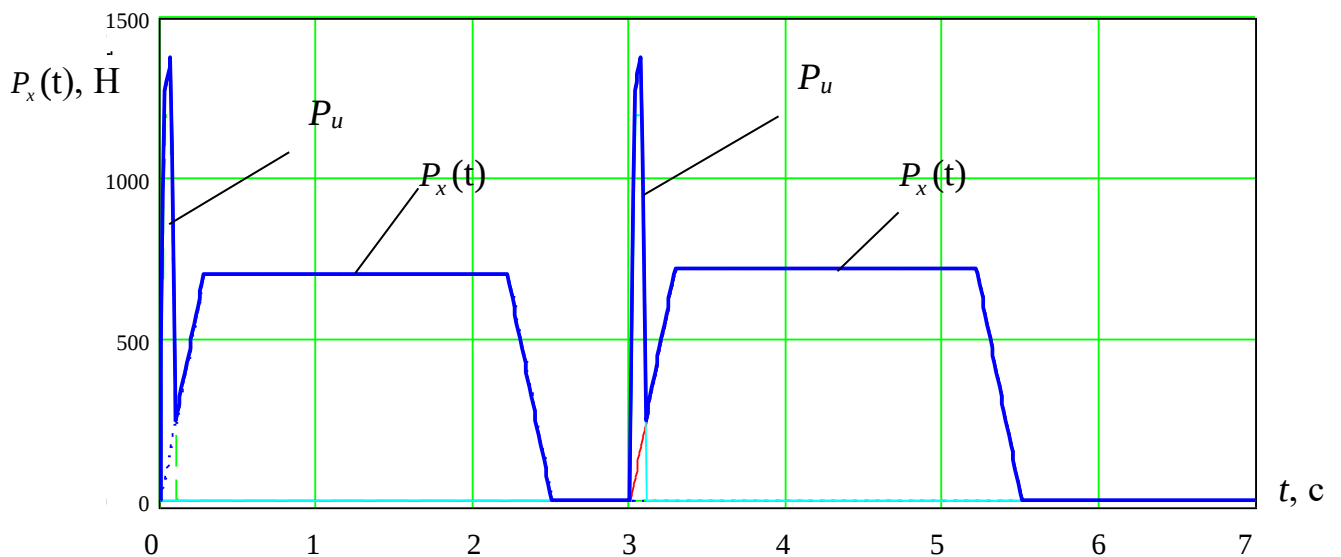


Рисунок 2.2 – Графік зміни сили різання $P_x(t)$ та ударів $P_u(t)$ при одному переході різця під час довбання канавки у заготовці із радіальними канавками

Розв’язок системи диференціальних рівнянь (2.13) проведено чисельним методом із застосуванням прикладного програмного забезпечення та представлено графічними залежностями зміни в часі: величини лінійної деформації різця в напрямку осі x (рис. 2.3), кута повороту заготовки, закріпленої у пристрої (рис. 2.4), величини лінійного переміщення заготовки в напрямку осі x (рис. 2.5), швидкості лінійної деформації різця в напрямку осі x (рис. 2.6), швидкості повороту заготовки, закріпленої у пристрої (рис. 2.7), швидкості лінійного переміщення заготовки в напрямку осі x (рис. 2.8).

Числові дані для розв’язку системи диференціальних рівнянь (2.13) визначались аналітичними та експериментальними методами за відомими методиками.

На основі побудованих графіків (рис. 2.3, рис. 2.6) встановлено, що максимальна величина лінійної деформації різця в напрямку осі x виникає в момент удару різця у поверхню заготовки і становить 0,102 мм, після цього деформація зменшується до середнього значення 0,035 мм при усталеному різанні із поступово затухаючою амплітудою коливання, максимальна швидкість лінійної деформації різця в напрямку осі x також виникає в момент

удару різця у поверхню заготовки і становить 400 мм/с, після цього швидкість деформації поступово зменшується до моменту чергового удару.

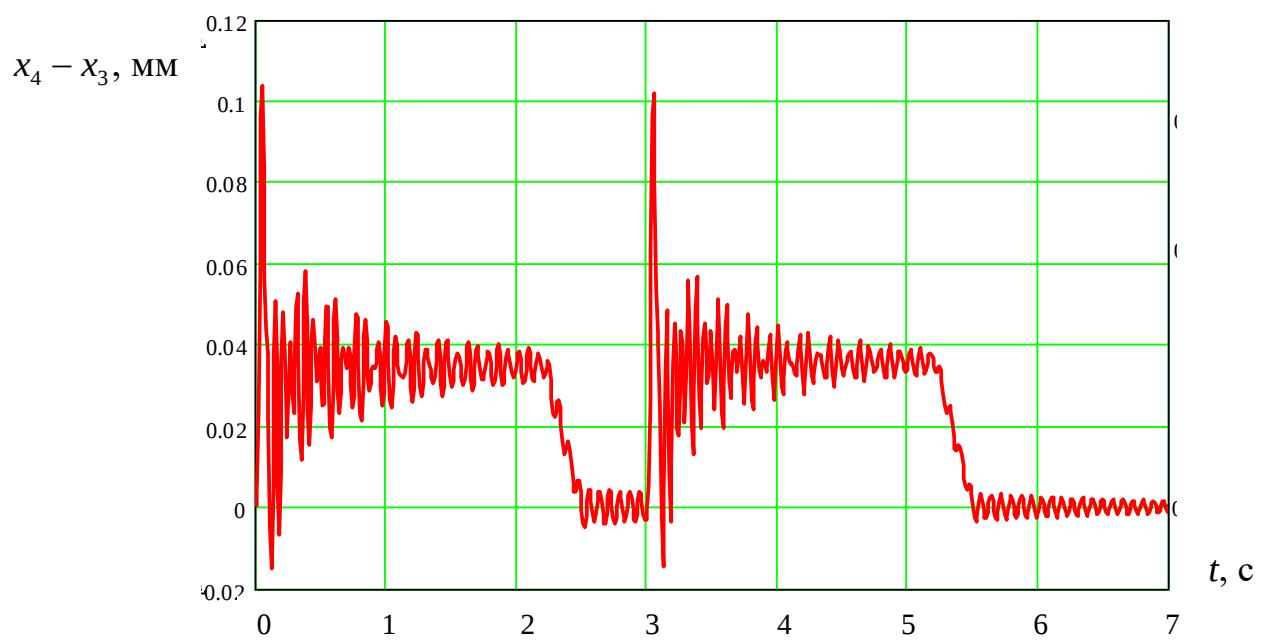


Рисунок 2.3 - Графік зміни величини лінійної деформації різця в напрямку осі x

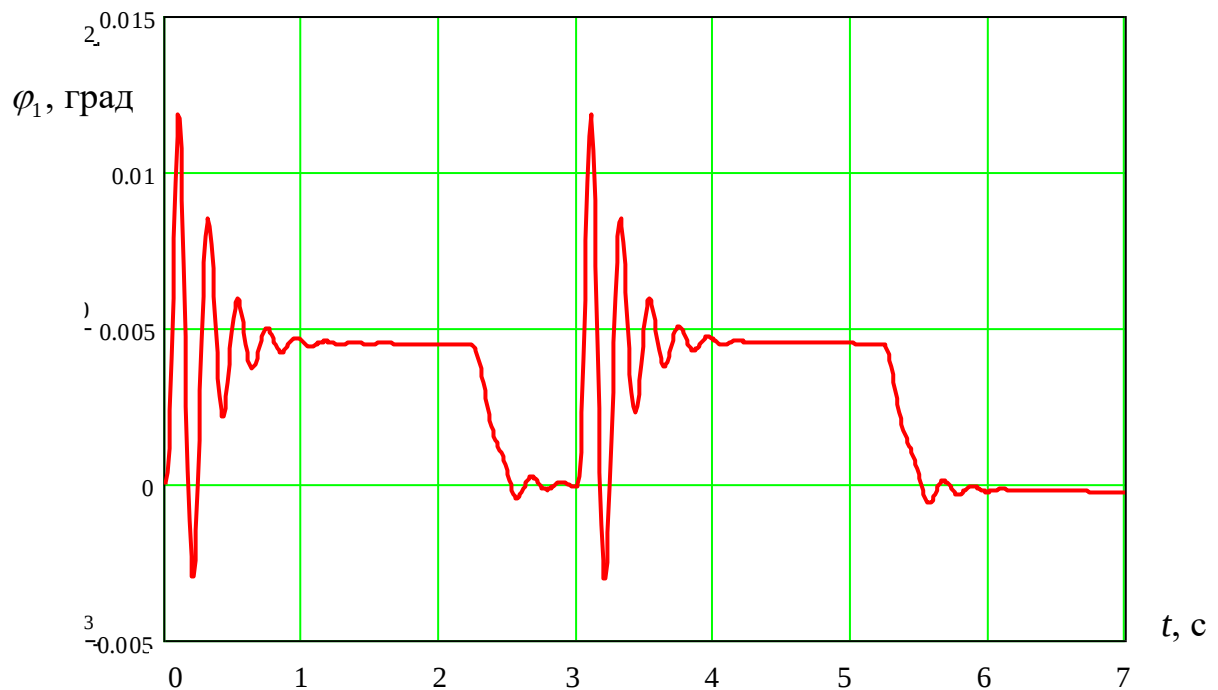


Рисунок 2.4 - Графік зміни кута повороту заготовки, закріпленої у пристрої в часі

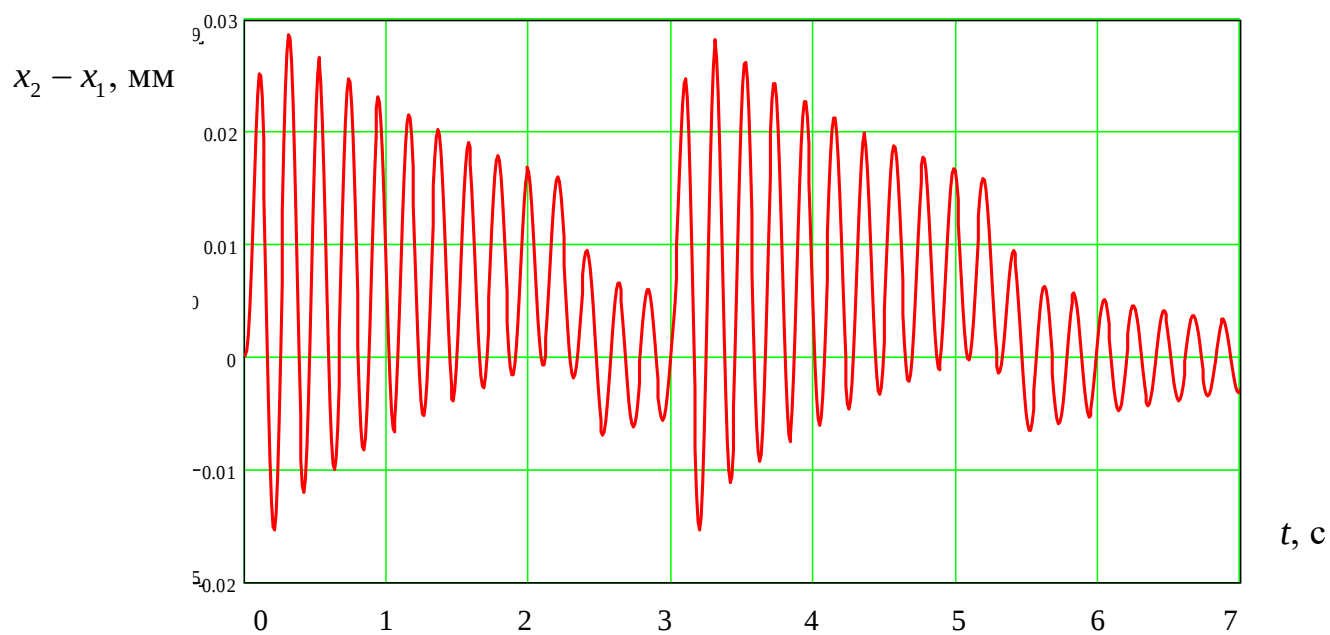


Рисунок 2.5 - Графік зміни величини лінійної деформації заготовки в напрямку осі x

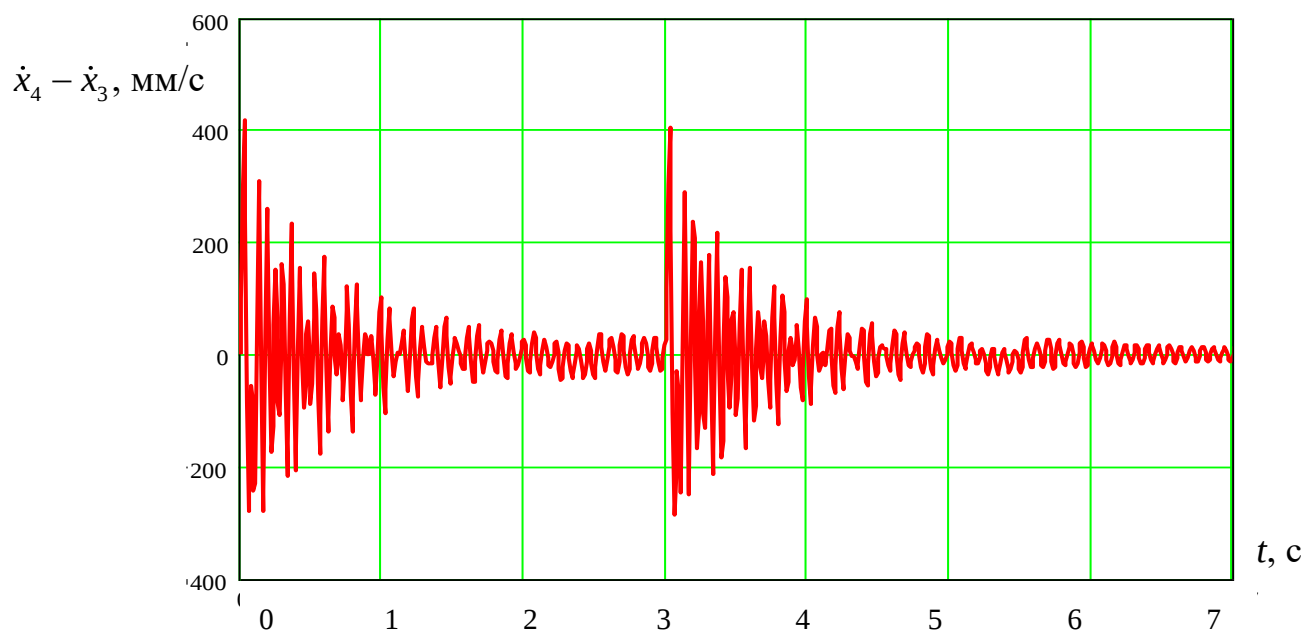


Рисунок 2.6 - Графік зміни швидкості лінійної деформації різця в напрямку осі x

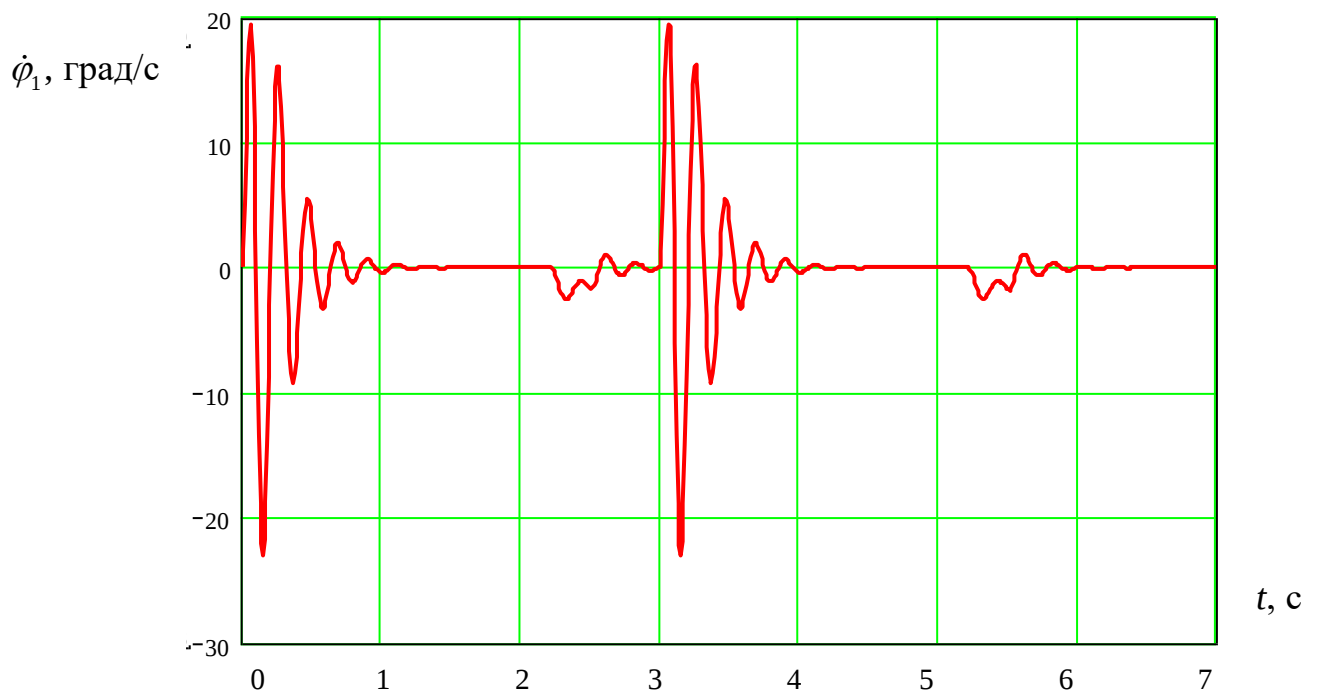


Рисунок 2.7 - Графік зміни швидкості повороту заготовки, закріпленої у пристрої

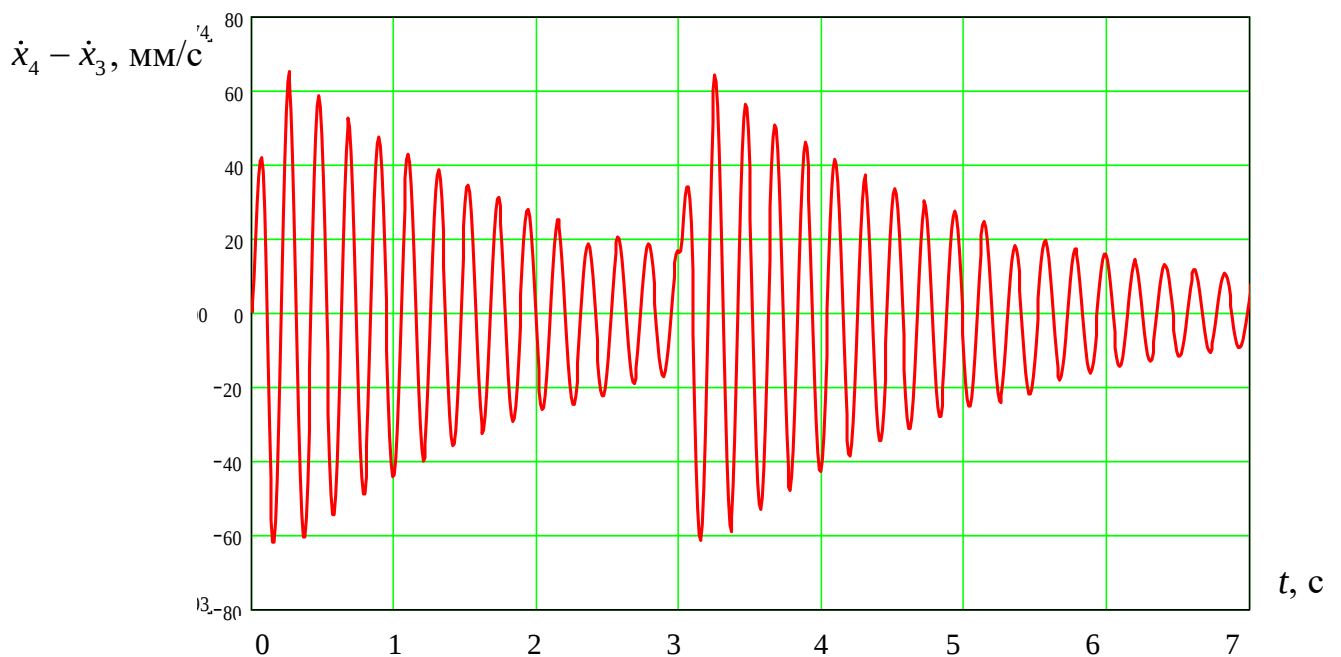


Рисунок 2.8 - Графік зміни швидкості лінійного переміщення заготовки в напрямку осі x

На основі побудованих графіків (рис. 2.4, рис. 2.7) встановлено, що максимальна величина кута повороту заготовки, закріпленої у пристрої виникає

в момент удару різця у поверхню заготовки і становить 0,012 град, після цього деформація зменшується до середнього значення 0,0048 град при усталеному різанні із поступово затухаючою амплітудою коливання, максимальна швидкість повороту заготовки також виникає в момент удару різця у поверхню заготовки і становить 20 град/с, після цього швидкість деформації поступово зменшується до моменту чергового удару.

На основі побудованих графіків (рис. 2.5, рис. 2.8) встановлено, що максимальна величина лінійної деформації заготовки в напрямку осі x виникає в момент удару різця у поверхню заготовки і становить 0,028 мм, після цього деформація зменшується до середнього значення 0,007 мм при усталеному різанні із поступово затухаючою амплітудою коливання, максимальна швидкість лінійної деформації заготовки в напрямку осі x також виникає в момент удару різця у поверхню заготовки і становить 65 мм/с, після цього швидкість деформації поступово зменшується до моменту чергового удару.

2.2. Висновки

В розділі проведено дослідження динаміки довбання перервних внутрішніх канавок. Використовуючи рівняння Лагранжа другого роду, виведено систему диференціальних рівнянь, що дозволяють прогнозувати коливання складових системи динамічної моделі у вигляді механічно пов'язаних елементів із зосередженими масами. Розв'язок системи диференціальних рівнянь проведено чисельним методом із застосуванням прикладного програмного забезпечення та представлено графічними залежностями.

На основі побудованих графіків встановлено, що максимальна величина лінійної деформації різця в напрямку осі x виникає в момент удару різця у поверхню заготовки і становить 0,102 мм, після цього деформація зменшується до середнього значення 0,035 мм при усталеному різанні із поступово затухаючою амплітудою коливання, максимальна швидкість лінійної

деформації різця в напрямку осі x також виникає в момент удару різця у поверхню заготовки і становить 400 мм/с, після цього швидкість деформації поступово зменшується до моменту чергового удару.

На основі побудованих графіків встановлено, що максимальна величина кута повороту заготовки, закріпленої у пристрої виникає в момент удару різця у поверхню заготовки і становить 0,012 град, після цього деформація зменшується до середнього значення 0,0048 град при усталеному різанні із поступово затухаючою амплітудою коливання, максимальна швидкість повороту заготовки також виникає в момент удару різця у поверхню заготовки і становить 20 град/с, після цього швидкість деформації поступово зменшується до моменту чергового удару.

На основі побудованих графіків встановлено, що максимальна величина лінійної деформації заготовки в напрямку осі x виникає в момент удару різця у поверхню заготовки і становить 0,028 мм, після цього деформація зменшується до середнього значення 0,007 мм при усталеному різанні із поступово затухаючою амплітудою коливання, максимальна швидкість лінійної деформації заготовки в напрямку осі x також виникає в момент удару різця у поверхню заготовки і становить 65 мм/с, після цього швидкість деформації поступово зменшується до моменту чергового удару.

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Службове призначення деталі

Деталь “Корпус” 738197.141 є базовим елементом вибухозахищеного трьохфазного світильника, що використовується для освітлення пожежонебезпечних зон різних галузей промисловості.

Основними поверхнями деталі “Корпус” 738197.141 є: зовнішня торцева поверхня 146h14($_{-1,0}$); Ra12,1, два різевих отвори М6-7Н; Ra6,8, 166±0,2, два пази 8Н14($^{+0,36}$); Ra12,1 – для кріплення і точного позиціонування кришки, що закриває внутрішні елементи світильника, два отвори $\varnothing$ 18Н14($^{+0,43}$); 22±0,5; Ra12,1 – для встановлення двох заглушок; два різевих отвори М30×1,5-7Н; Ra6,8 – для загвинчування фланця, який забезпечує підвід та затиск кабелю (наявність другого отвору забезпечує під’єднання світильників у транзитному виконанні); два різевих отвори М6-7Н; Ra6,8, 56±0,2 для приєднання системи кріплення світильника; чотири різевих отвори М4-7Н; Ra6,8, 75±0,2 для встановлення пуско-регулюючої апаратури світильника; отвір $\varnothing$ 15Н7($^{+0,018}$), Ra1,6; чотири отвори $\varnothing$ 5Н14($^{+0,3}$), 34±0,2, Ra12,1 для приєднання прожекторної системи освітлення..

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	Торцева поверхня 146h14($_{-1,0}$)	14	Ra12,1
2, 3	Два внутрішніх пази 8Н14($^{+0,36}$), 5,5Н14($^{+0,3}$)	14	Ra12,1
4, 5	Дві торцеві поверхні 206h14($_{-1,15}$)	14	Ra12,1
6	Отвір $\varnothing$ 15Н7($^{+0,018}$), 63±0,2	7	Ra1,6

Закінчення таблиці 3.1

1	2	3	4
7, 8, 9, 10	Чотири отвори $\varnothing 5H14(^{+0,3})$; $34\pm 0,2$	14	Ra12,1
11, 12	Два отвори $\varnothing 18H14(^{+0,43})$; $22\pm 0,5$	14	Ra12,1
13, 14	Два отвори $\varnothing 28,43^{+0,3}$; $l=22$ під різь $M30\times 1,5-7H$	12	Ra6,8
15, 16	Дві внутрішні фаски $1,6\times 45^\circ$	14	Ra12,1
17, 18	Два різевих отвори $M30\times 1,5-7H$; $l=17$	12	Ra6,8
19, 20	Два глухих отвори $\varnothing 4,95^{+0,26}$; $l=11$ під різь $M6-7H$, $56\pm 0,2$, $63\pm 0,3$	12	Ra6,8
21, 22	Дві внутрішні фаски $1\times 45^\circ$	14	Ra12,1
23, 24	Два різевих отвори $M6-7H$; $l=8$	12	Ra6,8
25, 26	Два глухих отвори $\varnothing 4,95^{+0,26}$; $l=17$ під різь $M6-7H$, $166\pm 0,2$, $152\pm 0,3$	12	Ra6,8
27, 28	Дві внутрішні фаски $1\times 45^\circ$	14	Ra12,1
29, 30	Два різевих отвори $M6-7H$; $l=12$	12	Ra6,8
31,32, 33, 34	Чотири глухих отвори $\varnothing 3,3^{+0,14}$; $75\pm 0,2$; $150\pm 0,2$; $l=17$ під різь $M4-7H$	12	Ra6,8

3.2. Вибір способу одержання заготовки

Матеріалом деталі “Корпус” 738197.141 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:

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

$q = 1,2$ 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” 738197.141

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				
Торцева поверхня 146h14 _(-1,0)	Ra12,1	5,0	6,0	152±2,5
Дві торцеві поверхні 206h14 _(-1,15)	Ra12,1	5,6	7 × 2 = 14	220 ±2,8
Отвір Ø15H7 ^(+0,018) , 63±0,2	Ra1,6	2,8	4 × 2 = 8	Ø7 ±1,4
Отвір Ø18H14 ^(+0,43) ; 42±0,3	Ra12,1	3,2	4,2 × 2 = 8,4	Ø9,6 ±1,6
2) лиття під тиском				
Торцева поверхня 146h14 _(-1,0)	Ra12,1	1,2	1,4	147,4±0,6
Дві торцеві поверхні 206h14 _(-1,15)	Ra6,8	1,4	1,8 × 2 = 3,6	209,6±0,7
Отвір Ø15H7 ^(+0,018) , 63±0,2	Ra1,6	0,7	1,0 × 2 = 2,0	Ø13±0,35
Отвір Ø18H14 ^(+0,43) ; 42±0,3	Ra12,1	0,8	1,0 × 2 = 2,0	Ø16 ±0,4
Два внутрішні пази 8H14 ^(+0,36) , 5,5H14 ^(+0,3)	Ra12,1	0,64; 0,56	1,0 × 2 = 2,0; 1,0	6±0,32; 4,5±0,28

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

Розраховуємо об’єми припусків для двох альтернативних варіантів:

- лиття в піщані форми із їх механізованим формуванням:

$$V_{np1} = \frac{\pi \cdot (18^2 - 9,6^2) \cdot 25}{4} \cdot 2 = 9100 \text{ мм}^3;$$

$$V_{np2} = (198 \cdot 193 - 195,5 \cdot 190,5) \cdot 6 = 5828 \text{ мм}^3;$$

$$V_{np3} = 34 \cdot 22 \cdot 7 \cdot 2 = 10472 \text{ мм}^3;$$

$$V_{np4} = \frac{\pi \cdot (15^2 - 7^2) \cdot 5}{4} = 691 \text{ мм}^3;$$

$$V_{np6} = \frac{\pi \cdot 5^2 \cdot 5}{4} \cdot 4 = 393 \text{ мм}^3;$$

$$V_{np7} = \frac{\pi \cdot 4^2 \cdot 17}{4} \cdot 4 = 854 \text{ мм}^3;$$

$$V_{np8} = \frac{\pi \cdot 6^2 \cdot 17}{4} \cdot 4 = 1922 \text{ мм}^3;$$

$$V_{np9} = \frac{\pi \cdot 6^2 \cdot 11}{4} \cdot 2 = 621 \text{ мм}^3;$$

$$V_{np10} = 8 \cdot 5,5 \cdot 16 \cdot 2 = 1408 \text{ мм}^3;$$

$$V_{np} = \sum V_{np_i} ;$$

$$V_{np} = 31289 \text{ мм}^3 = 31,29 \text{ см}^3.$$

- ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ:

$$V_{np1} = \frac{\pi \cdot (18^2 - 16^2) \cdot 25}{4} \cdot 2 = 2669 \text{ мм}^3;$$

$$V_{np2} = (198 \cdot 193 - 195,5 \cdot 190,5) \cdot 1,4 = 1360 \text{ мм}^3;$$

$$V_{np3} = 34 \cdot 22 \cdot 1,8 \cdot 2 = 2693 \text{ мм}^3;$$

$$V_{np4} = \frac{\pi \cdot (15^2 - 13^2) \cdot 5}{4} = 220 \text{ мм}^3;$$

$$V_{np6} = \frac{\pi \cdot 5^2 \cdot 5}{4} \cdot 4 = 393 \text{ мм}^3;$$

$$V_{np7} = \frac{\pi \cdot 4^2 \cdot 17}{4} \cdot 4 = 854 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр8}} = \frac{\pi \cdot 6^2 \cdot 17}{4} \cdot 4 = 1922 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр9}} = \frac{\pi \cdot 6^2 \cdot 11}{4} \cdot 2 = 621 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр10}} = (8 \cdot 16 - 6 \cdot 16) \cdot 4,5 \cdot 2 = 288 \text{ мм}^3;$$

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

$$V_{\text{пр}} = 11020 \text{ мм}^3 = 11,02 \text{ см}^3.$$

Загальні маси припусків:

– лиття в піщані форми із їх механізованим формуванням:

$$m_{\text{пр1}} = 31,29 \cdot 2,6 = 77,69 \text{ г} = 0,081 \text{ кг}.$$

– лиття під тиском:

$$m_{\text{пр2}} = 11,02 \cdot 2,6 = 28,7 \text{ г} \approx 0,029 \text{ кг}.$$

Визначаємо маси заготовок:

– лиття в піщані форми із їх механізованим формуванням:

$$Q_1 = 1,2 + 0,081 = 1,281 \text{ кг}.$$

– лиття під тиском:

$$Q_2 = 1,2 + 0,029 = 1,229 \text{ кг}.$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

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

– лиття в піщані форми із їх механізованим формуванням:

$$K_{\text{в.м.1}} = \frac{1,2}{1,281} = 0,93.$$

– лиття під тиском:

$$K_{\text{в.м.2}} = \frac{1,2}{1,229} = 0,97.$$

Вибираємо для умов середньосерійного типу виробництва а також характеристик поверхонь деталі “Корпус” 738197.141 спосіб виготовлення заготовки - литво під тиском.

3.3. Формування технологічного процесу

На основі вказаних вище даних проводимо проектування технологічного процесу механічної обробки деталі “Корпус” 738197.141.

005. Вертикально-фрезерна.

1. Фрезерувати остаточно торцеву поверхню 1, витримуючи розміри $146h14_{(-1,0)}$; $198 \pm 0,5$; $193 \pm 0,5$.

Перевірити розмір $146h14_{(-1,0)}$.

010. Агрегатна.

2. Свердлити шість отворів 25, 26, 31, 32, 33, 34 з формуванням шести фасок 27, 28, 35, 36, 37, 38, витримуючи розміри $\varnothing 4,95^{+0,26}$; $l=17$ під різь М6-7Н, $166 \pm 0,2$, $152 \pm 0,3$, $\varnothing 3,3^{+0,14}$; $75 \pm 0,2$; $150 \pm 0,2$; $l=17$ під різь М4-7Н, $1 \times 45^\circ$ одночасно з горизонтальної шестишпindelної силової головки Пб; зенкерувати отвір 6 витримуючи розміри $63 \pm 0,2$, $\varnothing 14,8^{(+0,18)}$ з вертикальної силової головки Па.

3. Свердлити два отвори 7, 9, витримуючи розміри $\varnothing 5H14^{(+0,3)}$; $34 \pm 0,2$ з двохшпindelної вертикальної силової головки ПІа одночасно, нарізати різь в шести отворах 29, 30, 39, 40, 41, 42, витримуючи розміри М6-7Н, $l=12$, М4-7Н; $l=12$; $166 \pm 0,2$, $152 \pm 0,3$, $75 \pm 0,2$; $150 \pm 0,2$ з горизонтальної шестишпindelної силової головки ПІб одночасно.

4. Свердлити два отвори 8, 10, витримуючи розміри $\varnothing 5H14^{(+0,3)}$; $31 \pm 0,2$; 37° з двохшпindelної вертикальної силової головки ІVа одночасно.

5. Розвернути попередньо отвір 6, витримуючи розміри $63 \pm 0,2$, $\varnothing 14,915^{(+0,043)}$ з вертикальної силової головки Vа.

6. Розвернути остаточно отвір 6, витримуючи розміри $63 \pm 0,2$, $\varnothing 15H7(^{+0,018})$ з вертикальної силової головки VIa.

7. Розкріпити деталь, зняти.

8. Перевірити розміри: M6-7H; $l=12$; M4-7H; $l=12$; $166 \pm 0,2$, $152 \pm 0,3$, $75 \pm 0,2$; $150 \pm 0,2$; $\varnothing 5H14(^{+0,3})$; $34 \pm 0,2$; 37° ; $63 \pm 0,2$, $\varnothing 15H7(^{+0,018})$ Контроль 30%.

015. Вертикально-фрезерна.

2. Фрезерувати остаточно торцеву поверхню 4, витримуючи розмір $207,8h14(-_{1,15})$.

4. Перевірити розмір $207,8h14(-_{1,15})$.

020. Вертикально-фрезерна.

2. Фрезерувати остаточно торцеву поверхню 5, витримуючи розмір $206h14(-_{1,15})$.

4. Перевірити розмір $206h14(-_{1,15})$.

025. Агрегатна.

2. Розсвердлити два отвори 11, 12, витримуючи розміри $\varnothing 18H14(^{+0,43})$; $22 \pm 0,5$ з вертикальної двохшпindel'ної силової головки IIa, свердлити два отвори 19, 20 з формуванням двох фасок 21, 22, витримуючи розміри $\varnothing 4,95^{+0,26}$; $l=11$ під різь M6-7H; $56 \pm 0,2$, $63 \pm 0,3$, $1 \times 45^\circ$ одночасно з горизонтальної двохшпindel'ної силової головки IIб.

3. Розсвердлити два отвори 13, 14 з одночасним формуванням двох фасок 15, 16, витримуючи розміри $\varnothing 28,43^{+0,3}$; $l=22$; $1,6 \times 45^\circ$; $22 \pm 0,5$ з вертикальної двохшпindel'ної силової головки IIIa одночасно, нарізати різь в двох отворах 23, 24, витримуючи розміри M6-7H; $l=8$; $56 \pm 0,2$, $63 \pm 0,3$ з горизонтальної двохшпindel'ної силової головки IIIб одночасно.

4. Нарізати різь одночасно в двох отворах 17, 18, витримуючи розміри M30 $\times$ 1,5-7H; $l=17$; $22 \pm 0,5$ з двохшпindel'ної вертикальної силової головки IVa.

6. Перевірити розміри: $\varnothing 18H14(^{+0,43})$; $22 \pm 0,5$; M6-7H; $l=8$; $56 \pm 0,2$, $63 \pm 0,3$; $1 \times 45^\circ$; $1,6 \times 45^\circ$; M30 $\times$ 1,5-7H; $l=17$.

030. Вертикально-фрезерна.

2. Фрезерувати остаточно внутрішній паз 3, витримуючи розміри $8H14(^{+0,36})$, $5,5H14(^{+0,3})$, $5\pm0,2$.

4. Перевірити розмір: $8H14(^{+0,36})$, $5,5H14(^{+0,3})$, $5\pm0,2$.

Операція 035. Вертикально-фрезерна.

2. Фрезерувати остаточно внутрішній паз 2, витримуючи розміри $8H14(^{+0,36})$, $5,5H14(^{+0,3})$, $5\pm0,2$.

4. Перевірити розмір: $8H14(^{+0,36})$, $5,5H14(^{+0,3})$, $5\pm0,2$.

Операція 040. Контроль.

3.4. Визначення припусків на оброблення

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

Габаритні розміри заготовки: $159\pm0,5 \times 201\pm0,5 \times 206\pm0,5$.

Послідовність оброблення поверхні $\varnothing 15H7$ із припусками та допусками представлено на рис. 3.3.

Таблиця 3.4 – Розрахункові припуски деталі “Корпус” 738197.141

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 $146h14_{(-1,0)}$					
Фрезерування чорнове	14	Ra12,1	1,0	1,4	$146h14_{(-1,0)}$
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	1,2	—	$147,4 \pm 0,6$
Торцева поверхня $206h14_{(-1,15)}$					
Фрезерування чорнове	14	Ra12,1	1,15	1,8	$206h14_{(-1,15)}$
Фрезерування чорнове	14	Ra12,1	1,15	1,8	$207,8h14_{(-1,15)}$

Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	1,4	—	209,6 ±0,7
Отвір Ø18H14(+0,43)					
Розсвердлювання	14	Ra12,1	0,43	1,0 × 2 = 2,0	Ø18 ^{+0,43}
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	0,8	—	Ø16 ±0,4
Отвір Ø28,43 ^{+0,3} ; l=28 під різь М30×1,5-7Н					
Розсвердлювання	13	Ra6,8	0,3	5,215 × 2 = =10,43	Ø28,43 ^{+0,3}
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	0,8	—	Ø18 ±0,4
Внутрішній паз 8H14(+0,36), 5,5H14(+0,3)					
Фрезерування чорнове	14	Ra12,1	0,36 0,3	1,0 × 2 = 2,0; 1,0	8H14(+0,36); 5,5H14(+0,3)
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	0,64 0,56	—	6±0,32; 4,5±0,28

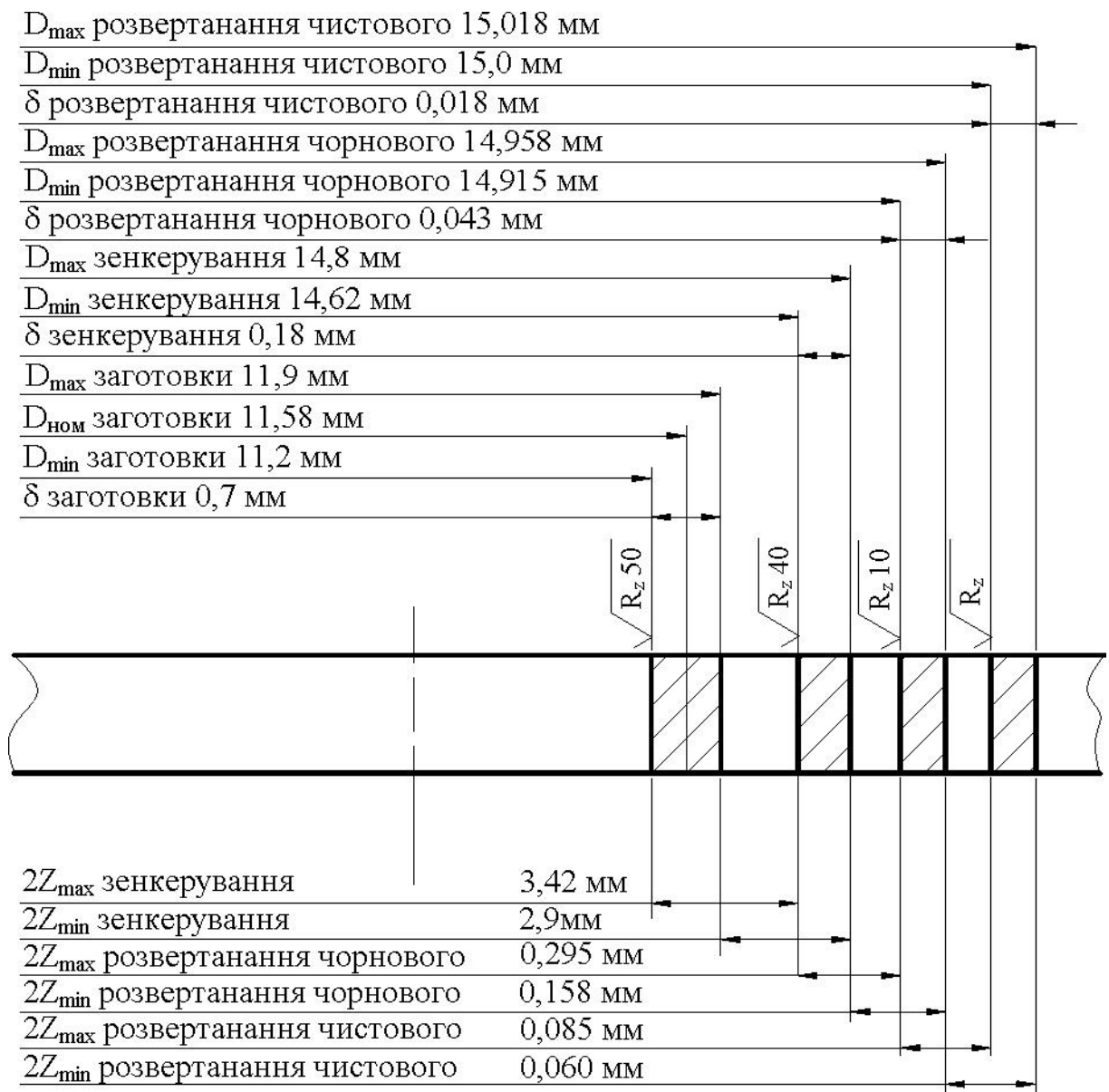


Рисунок 3.3 – Послідовність оброблення поверхні $\varnothing 15H7$ із припусками та допусками

3.5. Визначення режимів різання

Розрахунки режимів різання технологічного процесу виготовлення деталі “Корпус” 738197.141 проведено аналітичними та табличними методами, оформлено у вигляді таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Режими різання технологічного процесу виготовлення деталі
“Корпус” 738197.141

Номер, назва операції, зміст переходу	t, мм	L, мм	i	T _м , хв	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	S _м , мм/хв	T _о , хв	N, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005 Вертикально-фрезерна										
Позиція II Фрезерувати остаточно торцеву поверхню 1, витримуючи розміри 146h14 _(-1,0) ; 198±0,5; 193±0,5	1,4	220	1	100	0,8	901	218	721	0,32	0,6
010 Агрегатна										
Позиція II Свердлити шість отворів 25, 26, 31, 32, 33, 34 з формуванням шести фасок 27, 28, 35, 36, 37, 38, витримуючи розміри Ø4,95 ^{+0,26} ; l=17 під різь М6-7Н, 166±0,2, 152±0,3,	2,5	21	1	200	0,08	1568	24,8	126	0,18	1,02
Ø3,3 ^{+0,14} ; 75±0,2; 150±0,2; l=17 під різь М4-7Н, 1×45° одночасно з горизонтальної шести шпиндельної силової головки Пб	1,65				0,055	2274	23,6			
зенкерувати отвір 6 витримуючи розміри 63±0,2, 14,8 ^(+0,18) з вертикальної силової головки Па	1,61	9,5	1	30	0,35	601	22,4	211	0,047	0,17

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Позиція III Свердлити два отвори 7, 9, витримуючи розміри $\varnothing 5H14^{(+0,3)}$; $34 \pm 0,2$ з двохшпindelьно і вертикальної силової головки IIIa одночасно	2,5	15	1	200	0,107	2098	32,8	225	0,08	0,30
нарізати різь в шести отворах 29, 30, 39, 40, 41, 42, витримуючи розміри M6-7H, $l=12$, M4-7H; $l=12$; $166 \pm 0,2$, $152 \pm 0,3$, $75 \pm 0,2$; $150 \pm 0,2$ з горизонтальної шести шпindelьно і силової головки IIIб одночасно	0,54 0,202	21	1	120	1,0 0,7	272 388	5,12 4,8	272	0,17	0,60
Позиція IV Свердлити два отвори 8, 10, витримуючи розміри $\varnothing 5H14^{(+0,3)}$; $31 \pm 0,2$; 37° з двохшпindelьно і вертикальної силової головки IVa одночасно	2,5	15	1	200	0,107	2098	32,8	225	0,08	0,30
Позиція V										
Розвернути попередньо отвір 6, витримуючи розміри $63 \pm 0,2$, $14,915^{(+0,043)}$ з вертикальної силової головки Va.	0,169	19,5	1	30	0,9	221	8,4	199	0,11	0,15

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Позиція V Розвернути остаточно отвір 6, витримуючи розміри $63 \pm 0,2$, $15H7^{(+0,018)}_3$ вертикальної силової головки VIa	0,0425	19,5	1	30	0,54	261	12,5	140,4	0,12	0,12
015 Вертикально-фрезерна										
Позиція II Фрезерувати остаточно торцеву поверхню 4, витримуючи розмір $207,8h14_{(-1,15)}$.	1,8	45	1	100	0,5	751	76	374	0,14	0,45
020 Вертикально-фрезерна										
Позиція II Фрезерувати остаточно торцеву поверхню 5, витримуючи розмір $206h14_{(-1,15)}$.	1,8	45	1	100	0,5	751	76	374	0,14	0,42
025 Агрегатна										
Позиція II Свердлити два отвори 19, 20 з формуванням двох фасок 21, 22, витримуючи розміри $\varnothing 4,95^{+0,26}_0$; $l=11$ під різь М6-7Н, $56 \pm 0,2$, $63 \pm 0,3$, $1 \times 45^\circ$ одночасно з горизонтальної двохшпindelьн ої силової головки IIб	2,5	14	1	158	0,12	2018	31,8	244	0,07	0,61

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Розсвердлити два отвори 11, 12, витримуючи розміри $\varnothing 18H14^{+0,43}$; $22 \pm 0,5$ з вертикальної двохшпindelьної силової головки IIa	1,0	38	1	148	0,2	1212	68,5	244	0,17	0,98
Позиція III Розсвердлити два отвори 13, 14 з одночасним формуванням двох фасок 15, 16, витримуючи розміри $\varnothing 28,43^{+0,3}$; $l=22$; $1,6 \times 45^\circ$; $22 \pm 0,5$ з вертикальної двохшпindelьної силової головки IIIa одночасно	5,215	43	1	130	0,43	564	50,4	243	0,16	2,37
Нарізати різь в двох отворах 23, 24, витримуючи розміри M6-7H; $l=8$; $56 \pm 0,2$, $63 \pm 0,3$ з горизонтальної двохшпindelьної силової головки IIIб одночасно	0,54	12	1	133	1,0	243	4,7	244	0,11	0,14
Позиція IV										
Нарізати різь одночасно в двох отворах 17, 18, витримуючи розміри M30 $\times$ 1,5-7H; $l=17$; $22 \pm 0,5$ з двохшпindelьної вертикальної силової головки IVa.	0,433	26	1	200	1,5	162	15,3	244	0,12	0,75

Закінчення таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
030 Вертикально-фрезерна										
Позиція II Фрезерувати остаточно внутрішній паз 3, витримуючи розміри 8H14 ^(+0,36) , 5,5H14 ^(+0,3) , 5±0,2.	1	32	1	100	0,15	801	22	61	0,27	0,42
035 Вертикально-фрезерна										
Позиція II Фрезерувати остаточно внутрішній паз 3, витримуючи розміри 8H14 ^(+0,36) , 5,5H14 ^(+0,3) , 5±0,2.	1	32	1	100	0,15	801	22	61	0,27	0,42

Розрахунки технічних норм часу технологічного процесу виготовлення деталі “Корпус” 738197.141 проведено аналітичними та табличними методами подано у вигляді таблиці 3.6 та на графіку завантаження обладнання (рис. 3.4).

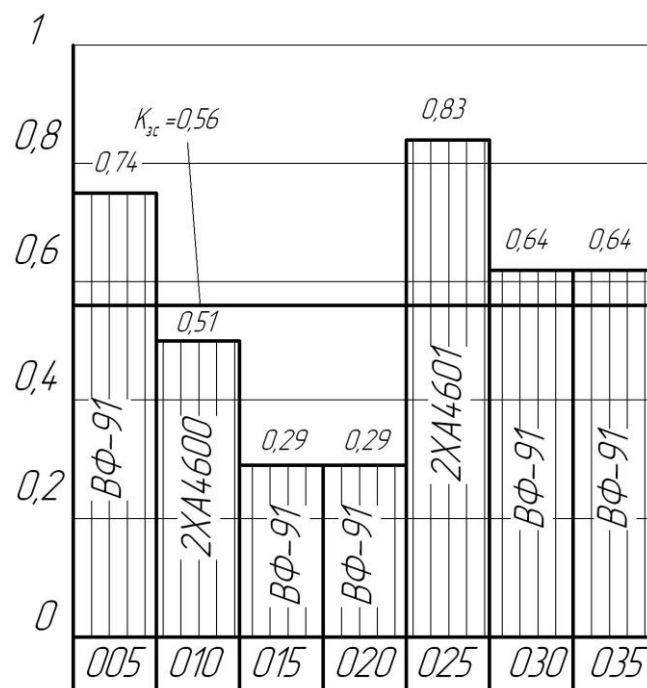


Рисунок 3.4 – Графік завантаження обладнання

Таблиця 3.6 – Розрахунки технічних норм часу технологічного процесу виготовлення деталі “Корпус” 738197.141

Номер та назва операції	T _о , хв	Допоміжний час, T _д хв			Час швидких переміщень, хв	Час циклу верстата, T _ц , хв	Час обслуговування, T _{об} , хв			T _{шт} , хв.	T _{пз} , хв.	n, шт	T _{шт.к.} , хв
		T _у .	T _{пер.}	T _{вим.}			T _{тех.об.}	T _{орг.об.}	T _{відп.}				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
005 Вертикально-фрезерна	0,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1414	0,453
010 Агрегатна	0,17	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—		0,31
015 Вертикально-фрезерна	0,12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		0,181
020 Вертикально-фрезерна	0,12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		0,181
025 Агрегатна	0,16	0,08	0,01	0,36	0,12	0,28	0,003	0,007	0,017	0,47	62		0,51
030 Вертикально-фрезерна	0,26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		0,39
035 Вертикально-фрезерна	0,26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		0,39

3.6. Розрахунок пристосування

З метою закріплення та базування деталі “Корпус” 738197.141 на 010 агрегатній операції на агрегатному верстаті спроектовано спеціальне оснащення. Базування заготовки здійснюється у пристосуванні по зовнішній торцевій поверхні та по контуру 206×201 на площину плити 12 і циліндричні пальці 27 з пневмозатиском по боковій поверхні притискачами 14, 34 через клиновий механізм та передачу зубчасте колесо-рейка.

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

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

$$\Delta \varepsilon_y = \sqrt{\Delta \varepsilon_6^2 + \Delta \varepsilon_3^2 + \Delta \varepsilon_{\text{пр}}^2}. \quad (3.4)$$

На операції 010 агрегатній при обробленні різьбових отворів потрібно забезпечити їх точне взаємне розташування та розміщення в межах допуску відносно контуру корпусу. Точність взаємного розміщення отворів забезпечуються показниками точності та жорсткості багатошпіндельної насадки та кондуктора, що використовуються разом із пристроєм. Точність розміщення отворів в межах допуску відносно контуру корпусу визначається 14 квалітетом і дорівнює відхиленню до 0,4 мм.

Розглядаючи конструкцію пристосування та базування заготовки, похибка базування $\Delta \varepsilon_{61}$ дорівнює зазору між заготовкою та базовими пальцями. Останні припасовані до розміру базової поверхні корпусу із зазором 0,1..0,15мм, тоді похибка базування корпусу у радіальному напрямку дорівнює максимальному подвійному зазору $\Delta \varepsilon_{61}=0,3\text{мм}$.

Допуск торцевої поверхні 146_{-1,0} визначає похибку базування в осьовому напрямку: $\Delta \varepsilon_{62}=1,0$ мм

Похибка закріплення $\Delta \varepsilon_3 = 80$ мкм.

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

Підставляючи дані у рівняння (3.4), одержуємо:

$$\Delta \varepsilon_y = \sqrt{\Delta \varepsilon_6^2 + \Delta \varepsilon_3^2 + \Delta \varepsilon_{\text{пр}}^2} = \sqrt{0,3^2 + 0,08^2 + 0,02^2} = 0,311\text{мм}.$$

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

$$\Delta \varepsilon_{y.\text{доп.}} = 0,4 \text{ мм}. \quad (3.5)$$

Отже, $\Delta \varepsilon_y = 0,311$ мм < $\Delta \varepsilon_{y.\text{доп.}} = 0,4$ мм. і при цьому забезпечується необхідна точність оброблення корпусу на агрегатній операції.

Розрахункову схему затиску деталі “Корпус” 738197.141 на 010 агрегатній операції при свердлінні чотирьох отворів Ø3,3мм та двох отворів Ø5мм представлено на рис. 3.5.

Осьове зусилля при свердлінні [16]:

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p, \quad (3.6)$$

де $D_{IIa} = 3,3$ мм; $D_{IIб} = 5,0$ мм – діаметр свердла;

$S_{II} = 0,08$ мм/об;

$C_3 = 9,8$; $y = 0,7$; $q = 1,0$ [16].

Підставляємо отримані значення в формулу (3.6), враховуючи 6 інструментів у наладці (4 свердла Ø3,3 мм; 2 свердла Ø5 мм):

$$P_{oIIa} = 4 \cdot 10 \cdot 9,8 \cdot 3,3^{1,0} \cdot 0,08^{0,7} \cdot 1,0 = 221 \text{ Н};$$

$$P_{oIIб} = 2 \cdot 10 \cdot 9,8 \cdot 5^{1,0} \cdot 0,08^{0,7} \cdot 1,0 = 167 \text{ Н}.$$

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

$$KM_{різ} = \sum M_{тр}. \quad (3.7)$$

Момент тертя:

$$\sum M_{тр} = P_{зат} \cdot R \cdot f_1 + \frac{2P_{зат} f_2 \cdot (R_2^3 - R_1^3)}{3(R_2^2 - R_1^2)}, \quad (3.8)$$

де $f_1 = 0,3$;

$f_2 = 0,3$;

$R_1 = 193$ мм;

$R_2 = 267$ мм;

$R = 40$ мм.

Сила затиску:

$$P_{\text{зат}} = \frac{KM_{\text{різ}}}{f_1 \cdot R + 2f_2 \cdot \frac{R_2^3 - R_1^3}{3(R_2^3 - R_1^3)}} + P_0. \quad (3.9)$$

Момент різання [16]:

$$M_{\text{різ1,2}} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p, \quad (3.10)$$

де $C_M = 0,005$; $q = 2,0$; $y = 0,8$ [16].

$D = 3,3$ мм; $D = 5$ мм

$S = 0,08$ мм/об.

Отже,

$$M_{\text{різ1}} = 10 \cdot 0,005 \cdot 3,3^2 \cdot 0,08^{0,8} \cdot 1 = 0,07 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{різ2}} = 10 \cdot 0,005 \cdot 5^2 \cdot 0,08^{0,8} \cdot 1 = 0,17 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Сумарний момент різання:

$$M_{\text{різ}} = 4M_{\text{різ1}} + 2M_{\text{різ2}};$$

$$M_{\text{різ}} = 4 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,17 = 0,62 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Коефіцієнт запасу $K=2,6$ [16].

На основі рівняння (3.9) одержимо:

$$P_{\text{зат}} = \frac{2,6 \cdot 0,62}{0,3 \cdot 0,04 + 2 \cdot 0,3 \cdot \frac{0,267^3 - 0,193^3}{3 \cdot (0,267^2 - 0,193^2)}} + 221 + 167 = 401 \text{ Н}.$$

Сила штовхання на штоці пневмоциліндра [11]:

$$F = 0,785 \cdot (D_{\text{ц}}^2 - d_{\text{шт}}^2) \cdot p \cdot \eta, \quad (3.11)$$

$$F_{\text{шт.тяг.}} = 0,785 \cdot (0,1^2 - 0,032^2) \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot 0,9 = 2536 \text{ Н}.$$

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

$$W = \frac{F_{\text{шт.тяг.}}}{\left(\operatorname{tg} \left(\beta + \operatorname{arctg} \left(\varphi \cdot \frac{d}{D} \right) \right) + \operatorname{tg} \varphi_1 \right)}, \quad (3.12)$$

де $\beta=10^\circ$; $d=12\text{мм}$; $D=24\text{мм}$.

$$\text{Тоді } W = \frac{2536}{\left(\operatorname{tg} \left(10 + \operatorname{arctg} \left(6 \cdot \frac{12}{24} \right) \right) + \operatorname{tg} 6 \right)} = 4474 \text{ Н.}$$

При умові $W = 4476 \text{ Н} > P_{\text{зат}} = 401 \text{ Н}$, забезпечено вимогу надійного закріплення заготовки на 010 операції.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Аналіз потенційних небезпек верстату чи обладнання, що проектується

В умовах діяльності людини значна кількість аварій і травм виникає внаслідок конструктивних недоліків машин, механізмів, обладнання, інструменту, захисних та запобіжних пристроїв, а також через недосконалість технологічних процесів засобів захисту людей.

Час існування машини визначається такими стадіями: науково-дослідницькі роботи; дослідно-конструкторські роботи; технологічні роботи; виробництво (виготовлення) машини; постачання замовнику (продаж) – експлуатація.

На кожній з цих стадій повною мірою повинні враховуватись вимоги безпеки до конструкції машини чи технічного виробу. Якщо на стадії науково-дослідницьких розробок формуються технічні вимоги до виконання дослідно-конструкторських робіт, то на стадії останніх створюється конструкція машини. При цьому вже повинні бути враховані правила безпеки при експлуатації машини відповідно до різних можливих аварійних, катастрофічних і травмонебезпечних ситуацій. За таких умов конструктори можуть передбачати виникнення таких явищ і вносити відповідні зміни у конструкцію машини, що проектується.

Реалізація конструкторських рішень, закладених у машину, забезпечується розробкою технологічних процесів, технічною підготовкою виробництва і виробничими процесами виготовлення. Технічні рішення щодо запобігання можливих аварійних та інших ситуаціях мають паралельно втілюватись у процеси виготовлення та доводки конструкції машини.

Подальші стадії циклу існування машини – постачання споживачу і експлуатація – повинні забезпечити збереження всіх властивостей, закладених конструкторами і технологами при проектуванні, підготовці до виробництва виготовленні виробу в машинобудівному виробництві.

Непродуманість конструкторами і технологами упаковки виробів (що забезпечило б збереження на стадії постачання та продажу), технології навантажування, транспортування та розвантажування, складування, зберігання і передпродажного обслуговування, а також недотримання існуючих правил виконання цих процесів, як правило, призводять до погіршення конструкції виробів. У свою чергу, порушення правил експлуатації машин викликає їх передчасне спрацювання, руйнування та старіння, що є причиною різних небезпечних ситуацій. В процесі експлуатації техніки визначаються такі основні конструкторсько-технологічні недосконалості: недотримання вимог до конструкцій машин щодо безпеки і гігієни праці, єдиних і загальних вимог до конструкцій автомобілів, тракторів, сільськогосподарських машин, вимог до робочого місця оператора машини, нормативних рівнів вібрацій і шуму на робочих місцях, вимог до електроустановок і посудин, що працюють під тиском, до будови пневмопроводів, зовнішніх освітлювальних приладів самохідних машин, попереджувальних написів на огорожах, фарбування огорожень, захисту машин від виникнення на них електричного струму, забезпечення ручних електрифікованих машин живленням від джерела струму напругою не вище 36 В і обладнання їх заземлення, забезпечення електричних нагрівників води запобіжними пристроями; підвищені рівні шуму та вібрацій на робочих місцях; невідповідність фарбового покриття машини та її складових частин залежно від їх функціонального призначення (фарбування нерухомих і обертових деталей однаково замість відмінного); відсутність пристроїв для захисту обслуговуючого персоналу від дії рухомих деталей; відсутність попереджувальних написів; неякісна конструкція упаковки, що спричиняє поломку опорних складових частин, деформацію корпусів приводів ланцюгових та інших передач і їх поломку, потрапляння пилу та інших забруднень у гідросистему через незахищені отвори трубок, що призводить до підвищеного спрацювання, заклинювання деталей гідросистем і само опускання начіпних машин і знарядь.

Виробниче і побутове обладнання має задовольняти вимоги безпеки при

монтажі, експлуатації, ремонті, транспортуванні й зберіганні, при використанні окремо або у складі комплексів і технологічних систем. У процесі експлуатації воно не повинно забруднювати викидами шкідливих речовин навколишнє середовище (повітря, ґрунт, водойми) понад норми, регламентовані стандартами.

Безпека виробничого і побутового обладнання має гарантуватися: вибором принципів дії, конструктивних схем, безпечних елементів конструкції тощо; застосуванням у конструкції засобів механізації, автоматизації, дистанційного керування і засобів захисту; дотриманням ергономічних вимог; включенням вимог безпеки у технічну документацію з монтажу, експлуатації, ремонту, транспортування і зберігання; застосуванням у конструкції відповідних матеріалів. Виробниче та побутове обладнання повинно бути пожежо- та вибухобезпечним. При експлуатації не повинно створювати небезпеки внаслідок дії вологи, сонячної радіації, механічних коливань, високих та низьких тисків і температур, агресивних речовин, вітрових навантажень, обледеніння, мікроорганізмів, грибів, комах тощо. Протягом усього терміну експлуатації воно має відповідати вимогам безпеки.

Відповідно до загальних вимог необхідно дотримуватися таких правил розробки основних елементів конструкцій: матеріали, що використовуються в конструкції виробничого та побутового обладнання, повинні бути безпечними і нешкідливими. Не допускається використовувати нові речовини і матеріали, які не пройшли гігієнічну перевірку, а також перевірку на пожежобезпеку в установленому порядку.

4.2. Класифікація надзвичайних ситуацій

Постановою Кабінету Міністрів України № 1099 «Про порядок класифікації надзвичайних ситуацій» затверджено «Положення про класифікацію надзвичайних ситуацій». Згідно з цим положенням, за характером походження подій, що зумовлюють виникнення надзвичайних ситуацій на території України, розрізняють 4 класи надзвичайних ситуацій: техногенного,

природного, соціально-політичного та військового характеру. Кожен клас надзвичайних ситуацій поділяється на групи, які містять конкретні їх види.

Надзвичайні ситуації техногенного характеру – це наслідок транспортних аварій, катастроф, пожеж, неспровокованих вибухів чи їх загроза, аварій з викидом (загрозою викиду) небезпечних хімічних, радіоактивних, біологічних речовин, раптового руйнування споруд та будівель, аварій на інженерних мережах і спорудах життєзабезпечення, гідродинамічних аварій на греблях, дамбах тощо.

Надзвичайні ситуації природного характеру – це наслідки небезпечних геологічних, метеорологічних, гідрологічних, морських та прісноводних явищ, деградації ґрунтів чи надр, природних пожеж, змін стану повітряного басейну, інфекційних захворювань людей, сільськогосподарських тварин, масового ураження сільськогосподарських рослин хворобами чи шкідниками, зміни стану водних ресурсів та біосфери тощо.

Надзвичайні ситуації соціально-політичного характеру – це ситуації, пов'язані з протиправними діями терористичного та антиконституційного спрямування: здійснення або реальна загроза терористичного акту (збройний напад, захоплення і затримання важливих об'єктів ядерних установок і матеріалів, систем зв'язку та телекомунікації, напад чи замах на екіпаж повітряного чи морського судна), викрадення (спроба викрадення) чи знищення суден, встановлення вибухових пристроїв у громадських місцях, викрадення зброї, виявлення застарілих боєприпасів тощо.

Надзвичайні ситуації військового характеру – це ситуації, пов'язані з наслідками застосування зброї масового ураження або звичайних засобів ураження, під час яких виникають вторинні фактори ураження населення внаслідок зруйнування атомних і гідроелектричних станцій, складів і сховищ радіоактивних і токсичних речовин та відходів, нафтопродуктів, вибухівки, сильнодіючих отруйних речовин, токсичних відходів, транспортних та інженерних комунікацій.

Залежно від територіального поширення, обсягів, заподіяних або

очікуваних економічних збитків, кількості людей, які загинули, розрізняють 4 рівні надзвичайних ситуацій – загальнодержавний, регіональний, місцевий та об’єктовий.

Надзвичайна ситуація загальнодержавного рівня – це надзвичайна ситуація, яка розвивається на території двох та більше областей або загрожує транскордонним перенесенням, а також у разі, коли для її ліквідації необхідні матеріали і технічні ресурси в обсягах, що перевищують власні можливості окремої області, але не менше 1 % обсягів видатків відповідного бюджету.

Надзвичайна ситуація регіонального рівня – це надзвичайна ситуація, яка розвивається на території двох або більше адміністративних районів (міст обласного значення), або загрожує перенесенням на територію суміжної області, а також у разі, коли для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси в обсягах, що перевищують власні можливості окремого району, але не менше 1 % обсягів видатків відповідного бюджету.

Надзвичайні ситуації місцевого рівня – це надзвичайна ситуація, яка виходить за межі потенційно-небезпечного об’єкта, загрожує поширенням самої ситуації або її вторинних наслідків на довкілля, сусідні населені пункти, інженерні споруди, а також у разі, коли для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси в обсягах, що перевищують власні можливості об’єкта. До місцевого рівня також належать всі НС, які виникають на об’єктах житлово-комунальної сфери та інших, що не входять до затверджених переліків потенційно-небезпечних об’єктів.

Надзвичайна ситуація об’єктового рівня – це надзвичайна ситуація, яка не підпадає під зазначені вище визначення, тобто така, що розгортається на території об’єкта або на самому об’єкті, її наслідки не виходять за межі об’єкта або його санітарно-захисної зони.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі представлено дослідження динаміки довбання перервних внутрішніх канавок. Використовуючи рівняння Лагранжа другого роду, виведено систему диференціальних рівнянь, що дозволяють прогнозувати коливання складових системи динамічної моделі у вигляді механічно пов'язаних елементів із зосередженими масами. Розв'язок системи диференціальних рівнянь проведено чисельним методом із застосуванням прикладного програмного забезпечення та представлено графічними залежностями.

На основі побудованих графіків встановлено, що максимальна величина лінійної деформації різця в напрямку осі x виникає в момент удару різця у поверхню заготовки і становить 0,102 мм, після цього деформація зменшується до середнього значення 0,035 мм при усталеному різанні із поступово затухаючою амплітудою коливання, максимальна швидкість лінійної деформації різця в напрямку осі x також виникає в момент удару різця у поверхню заготовки і становить 400 мм/с, після цього швидкість деформації поступово зменшується до моменту чергового удару.

На основі побудованих графіків встановлено, що максимальна величина кута повороту заготовки, закріпленої у пристрої виникає в момент удару різця у поверхню заготовки і становить 0,012 град, після цього деформація зменшується до середнього значення 0,0048 град при усталеному різанні із поступово затухаючою амплітудою коливання, максимальна швидкість повороту заготовки також виникає в момент удару різця у поверхню заготовки і становить 20 град/с, після цього швидкість деформації поступово зменшується до моменту чергового удару.

На основі побудованих графіків встановлено, що максимальна величина лінійної деформації заготовки в напрямку осі x виникає в момент удару різця у поверхню заготовки і становить 0,028 мм, після цього деформація зменшується до середнього значення 0,007 мм при усталеному різанні із поступово

затухаючою амплітудою коливання, максимальна швидкість лінійної деформації заготовки в напрямку осі x також виникає в момент удару різця у поверхню заготовки і становить 65 мм/с, після цього швидкість деформації поступово зменшується до моменту чергового удару.

Розроблено технологічний процес виготовлення корпусу 738197.141.

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. Helmi A. Youssef, Hassan El-Hof. Machining technology : machine tools and operations. 2008. 633 p.
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. Шевчук О.С. Підвищення ефективності виготовлення внутрішніх гвинтових шліцьових канавок. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 «Технологія машинобудування». Тернопіль, 2011. 160 с.
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. Приказюк В.М., Тримбашевський М.А., Свистун П.А. Дослідження динаміки 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. 126.
18. Zhao, X., Liu, Q., Fu, Y. et al. Study on the influencing factors of the deformation in the process of gear shaping. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2021, Vol. 117, p. 167–185.
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 Vasykiv, 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. Ляшук О.Л., Дячун А.Є., Клендій В.М., Третьяков О.Л. Дослідження силових параметрів процесу зміцнення гвинтових поверхонь робочих органів деформуючими пуансонами. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Івано-Франківськ, 2018. №. 1 (66). С. 38-43.