

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 737140.042 з
дослідженням параметрів інструменту для формування торцевих канавок

Виконав: студент VI курсу, групи МПм-62
спеціальності 131 “Прикладна механіка”

(шифр і назва спеціальності)

Маслянка В.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Дячун А.Є.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Дячун А.Є.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Окіпний І.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2023

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи: “Розроблення технології виготовлення корпусу 737140.052 з дослідженням процесу нарізання торцевих канавок”.

У кваліфікаційній роботі проведено дослідження методом кінцевих елементів напружено-деформованого стану спеціального інструменту при нарізанні торцевої канавки на плоскій поверхні.

Виконано трьохмірне зображення спеціального інструменту для нарізання торцевої канавки на плоскій поверхні плити. Для дослідження напружено-деформованого стану конструктивних елементів спеціального інструменту при дії зовнішнього навантаження використано прикладне програмне забезпечення, що дозволяє генерувати кінцево-елементну сітку створеної моделі.

На основі зміни зовнішнього навантаження одержали графіки залежності максимальних напружень та деформацій, що виникають при вершинах різців від величини зовнішнього навантаження.

Проведено ряд експериментальних досліджень процесу нарізання торцевої канавки на плоскій поверхні заготовки спеціальним інструментом. Зокрема досліджено крутний момент нарізання торцевої канавки спеціальним інструментом із двома різцями, що дозволяє визначати тангенціальну складову сили різання а також потужність, що витрачається при формуванні канавки. Відповідно вказані параметри є визначальними при проектуванні інструментів та технологічних процесів із вибором обладнання.

Вдосконалено технологічний процес виготовлення корпусу 737140.042.

ЗМІСТ

Вступ	
1 Аналітична частина	
1.1. Аналіз стану питання.....	
1.2. Висновки та постановка завдань.....	
2 Науково-дослідна частина	
2.1. Дослідження методом кінцевих елементів напружено-деформованого стану спеціального інструменту при нарізання торцевої канавки на плоскій поверхні.....	
2.2. Результати експериментальних досліджень крутного моменту нарізання торцевої канавки спеціальним інструментом.....	
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

Процес нарізання торцевих канавок на плоских поверхнях корпусів, плит та інших деталей широко використовується у багатьох галузях промисловості, зокрема аерокосмічної, нафтової та газової, при виробництві гідравлічних та пневматичних систем. Особливо важливими торцеві канавки є у виробництві герметичних систем, в яких у торцевих канавках розміщуються ущільнюючі елементи.

Торцеві канавки можна нарізати кінцевими фрезами із застосуванням верстатів з ЧПК, або спеціальними інструментами із одним або двома різцями на розточних, фрезерних верстатах, або верстатах з ЧПК. Якщо поверхня канавки використовується для герметизації, то найбільш прийнятним методом є її формоутворення за допомогою спеціального інструмента із різцями, що забезпечує найвищу точність. Один спеціальний інструмент можна використовувати для різних діаметрів формування канавок завдяки можливості налагодження різців, що розміщені на картриджах методом їх переміщення та фіксації в радіальному напрямку.

Тому подальші дослідження параметрів інструменту для формування торцевих канавок є актуальними.

Актуальним є також розроблення технологічного процесу виготовлення корпусу 737140.042.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Аналіз стану питання

Для нарізання торцевих круглих канавок на плоских поверхнях деталей машин зазвичай використовують два основних способи. Перший спосіб полягає в наданні обертового руху заготовці на токарному верстаті та подачі до заготовки нерухомого інструменту. Другий спосіб полягає у фрезеруванні торцевої канавки кінцевою фрезою на верстаті з ЧПК з круговою інтерполяцією. Використання другого способу виконується, коли заготовку не можливо закріпити у патроні токарного верстата, заготовка має конструкцію, що включає бобишки чи елементи, які ускладнюють доступ інструменту, чи виникнення дисбалансу при обертанні заготовки. Однак при фрезеруванні кінцевою фрезою значно зростає цикл обробки а також виникають поломки інструменту. Крім того, такі інструменти можуть формувати лише канавки симетричного профілю.

Компанія Thinbit/Kaiser Tool Co. [12] розробила спеціальні інструменти, що базуються на розточних оправках і використовують токарні ріжучі твердосплавні пластини. Так інструменти (рис. 1.1) забезпечують формоутворення торцевих канавок різних діаметрів із симетричним або не симетричним профілем (рис. 1.2).

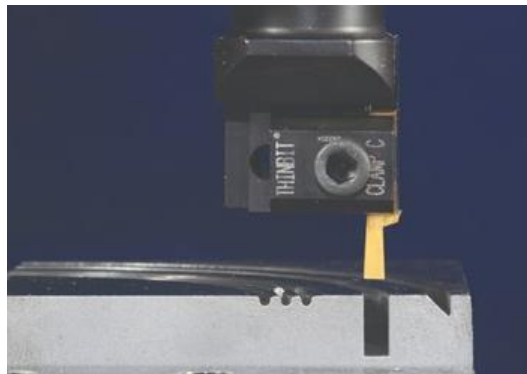


Рисунок 1.1 – Спеціальний інструмент для нарізання канавок компанії Thinbit/Kaiser Tool Co. [12]

Порівняно із процесом фрезерування кінцевою фрезою такі інструменти забезпечують вищу точність співвідносі торцевих канавок та якість оброблених поверхонь. При цьому продуктивність зростає до 90%. При тестових дослідженнях інструментом Mill A Groove канавку шириною 3 мм у заготовці із сталі нарізано за 18 секунд, тоді як фрезеруванням кінцевою фрезою таку ж канавку одержано за 3 хвилини. Режими різання для інструменту Mill A Groove визначаються простим перетворенням величин швидкостей та подач із токарної операції нарізання торцевої канавки у операцію фрезерування із застосування однієї ріжучої кромки.

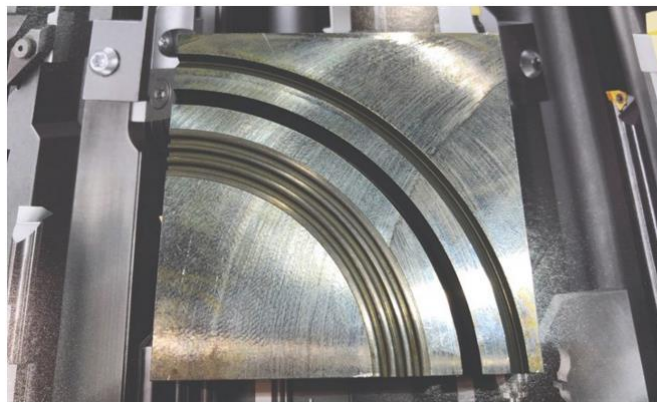


Рисунок 1.2 – Приклади профілів торцевих канавок [12]

Ширина твердосплавних пластин коливається від 1 мм до 3,5 мм. Діаметр обробки до 80 мм. Глибина канавок досягається до 2,5...3 ширини канавки. Ріжучі пластини виготовляються із карбідів для чорних і кольорових металів, із швидко ріжучої сталі для композитів і пластмас. Ріжучі пластини можуть бути покритими TiN, TiCN, TiAlN або алмазною плівкою.

Для нарізання торцевих канавок спеціалісти компанії Sandvik Coromant [15] розробили нову концепцію ріжучих інструментів CoroCut QF. Такі інструменти забезпечують високу стабільність та кращу безпеку процесу, навіть при нарізанні глибоких та вузьких торцевих канавок, також забезпечується різання важкодоступних елементів. Спеціалісти відзначають, що в процесі нарізання канавки може відбуватись забивання стружки, що знижує продуктивність обробки. Інструменти CoroCut QF мають високу жорсткість ріжучих лез із забезпеченням точної подачі мастильно-охолоджуючих

технологічних середовищ. Інноваційний дизайн ріжучих пластин із спеціальними канавками забезпечує правильне прикладання сили при їх затиску, що мінімізує їх зміщення.

Охолодження інструменту з двох боків особливо є корисним для формування глибоких та вузьких торцевих канавок. Забивання стружки у канавці може призвести до руйнування ріжучої пластини, що підвищує небезпеку процесу. В процесі нарізання торцевих канавок, досить часто знижують подачу інструменту, що погіршує продуктивність. Тому важливими є постійний контроль формування стружки та жорсткість інструменту, що забезпечує протидію силам різання.

На рисунку 1.3 показано деталі із звичайними та ступінчастими торцевими канавками. Для формування таких канавок необхідне застосування інструменту із кільцеподібною сегментною робочою частиною. Такий інструмент може використовуватись для формування торцевих канавок діаметром $D_1 = 40\text{--}75$ мм та шириною $W = 6$ мм. При цьому параметри інструменту рис. 1.4 становлять $H_1 = 75$ мм; $B_2 = 52$ мм.

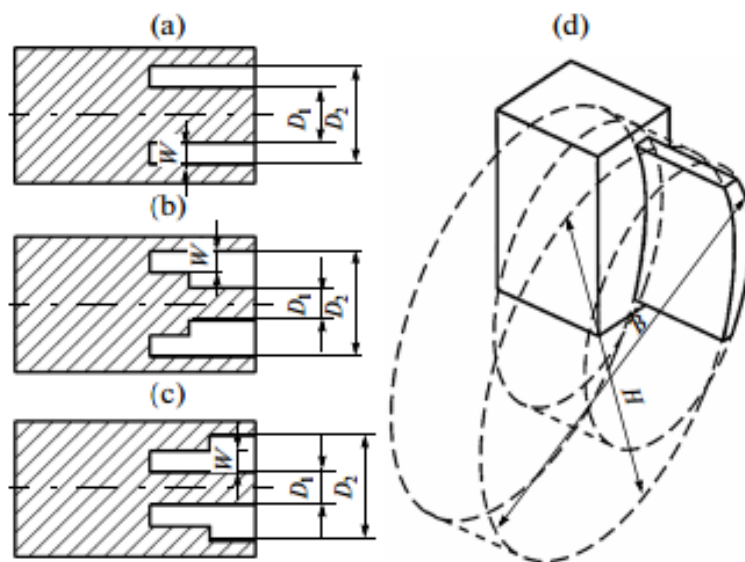


Рисунок 1.3 – Співвідношення між параметрами торцевих канавок та кільцеподібною сегментною робочою частиною інструмента [18]

З метою уніфікації спеціальний інструмент повинен забезпечувати обробку

найбільшого діаметра торцевої канавки. Граничні геометричні параметри торцевої канавки, які можливо нарізати обмежуються міцністю різців на інструменті, тому виникає потреба в аналізі міцності самих інструментів. Для уникнення ударів між заготовкою та інструментом, що деформується під дією сил різання, потрібно забезпечувати зазор між державкою із твердосплавною пластиною та поверхнею обробленої торцевої канавки. Оптимальна поверхня інструмента визначається накладанням усіх можливих діаметрів обробки із врахуванням граничних відхилень.

Процес нарізання торцевої канавки зазвичай розпочинається із різання, при якому ширина канавки дорівнює ширині ріжучої пластини інструмента. У багатьох видах обробки це також є і фінішна обробка. При цьому особливістю такого процесу є важливість контролю формоутворення стружки. При цьому ширина стружки повинна бути меншою за ширину канавки, якщо не допускається пошкодження обробленої поверхні. Також для доступу мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ до зони різання, стружка повинна піддаватись ефективному руйнуванню та виведенню з канавки. Для досягнення поставлених вимог контролю стружкоутворення у роботах [19, 21] проведено оптимізацію геометрії передньої поверхні інструменту.

На рис. 1.4 представлено геометричні параметри операції нарізання торцевої канавки та формування стружки в середині канавки. Складність нарізання торцевої канавки полягає в поганому охолодженні зони різання через геометричні особливості канавки та залипання стружки, яка обмежує подачу мастильно-охолоджуючого технологічного середовища.

Для одержання ефективного охолодження охолоджуюче середовище повинно досягати гарячу зону біля ріжучої кромки. Оскільки доступ до гарячих зон є обмеженим, використання звичайних методів охолодження є не ефективним. Температура біля ріжучої кромки є вищою за температуру кипіння води. Тому на поверхнях ріжучого інструменту та заготовки утворюється шар пари, що діє як ізолятор, що значно знижує процес охолодження.

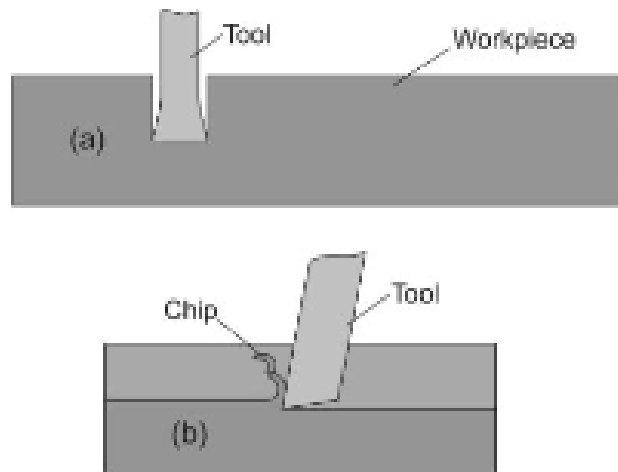


Рисунок 1.4 – Розташування ріжучого інструменту на дні канавки при операції нарізання торцевої канавки а) формування стружки б) [22]

Для уникнення цього потрібно збільшувати тиск подачі охолоджуючої рідини. На рис. 1.5 представлено залежність тиску пари від температури, що одержано на основі таблиць термодинамічних властивостей пари.

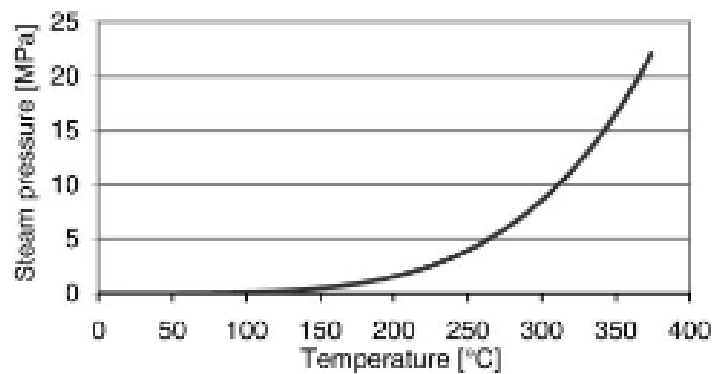


Рисунок 1.5 – Залежність тиску водяної пари від температури [22]

Наприклад, якщо температура в зоні різання досягає 300 °C, то тиск охолоджуючої рідини повинен бути вище 8,6 МПа, щоб уникнути формування шару пари.

У роботі [23] встановлено, що покращене охолодження зони різання та підвищення стійкості інструменту можна досягти за рахунок подачі охолоджуючої рідини через передню поверхню ріжучої пластини. Таке застосування здійснювалось при відносно низькому тиску 2,5 МПа, тому мало

малий вплив на формування стружки. Застосування охолоджуючої рідини під високим тиском більше 10 МПа на задній поверхні інструменту може змінювати форму стружки.

У роботі [22] представлено результати експериментальних досліджень процесу нарізання торцевої канавки із використанням спеціального інструменту із двома соплами (рис. 1.6). Охолоджуюча рідина подавалась внутрішніми каналами різцетримача та елементів затиску, при цьому контроль тиску охолоджуючої рідини для кожного із сопел здійснювався окремо. Максимальний тиск досягав величини 40 МПа із подачею 40 л/хв. Діаметри обробки 300 – 600 мм, швидкість різання 120 – 160 м/хв, подача 0,12 мм/об, ширина канавки 6 мм. Тиск охолоджуючої рідини на основному соплі становив 10 – 30 МПа, на додатковому соплі – 5 – 30 МПа. При експериментах визначались зношення інструменту, форма стружки та шорсткість обробленої поверхні. Стійкість інструменту визначалась при різних швидкостях різання та різних тисків подачі охолоджуючого технологічного середовища із основного та додаткового сопел.



Рисунок 1.6 – Спеціальний інструмент із двома соплами для нарізання торцевих канавок з подачею охолоджуючої рідини під високим тиском [22]

При цьому встановлено, що використання тиску 10 – 30 МПа

охолоджуючої рідини на передній поверхні інструменту підвищує стійкість інструменту на 200 – 300 відсотків. При цьому стружка руйнувалась на короткі куски, однак ширина стружки зростала, тому стружка переміщувалась по бокових сторонах канавки, що є не бажаним, коли нарізання канавки є фінішною операцією, також інші поверхні деталі можуть піддаватись дії стружки під тиском. Використання тиску охолоджуючої рідини на задній поверхні інструменту підвищує стійкість інструменту на 50 – 100 відсотків. При цьому якість обробленої поверхні не погіршувалась.

Тому застосування подачі охолоджуючої рідини під високим тиском на задній поверхні інструменту може бути рекомендоване для підвищення продуктивності процесу без погіршення якості обробленої поверхні.

Шорсткості поверхонь торцевої канавки після нарізання спеціальним інструментом із подачею охолоджуючої рідини на передню і задню поверхню інструменту представлено на рис. 1.7.

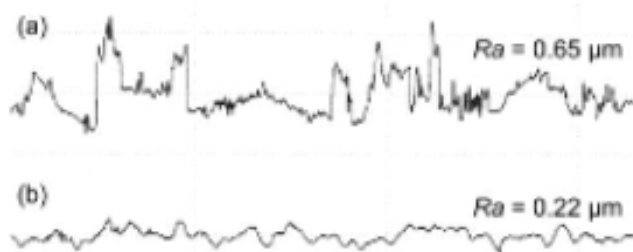


Рисунок 1.7 – Шорсткості поверхонь торцевої канавки після нарізання спеціальним інструментом із подачею охолоджуючої рідини на передню а) і задню б) поверхню інструменту [22]

Компанія ISCAR розробила інструмент DCT CHAMDRILL для нарізання торцевих канавок та вирізання отворів у плитах товщиною до 5 мм на фрезерних верстатах. Ширина оброблюваних канавок від 1,5 мм до 3 мм із діаметром канавок від 8мм до 34 мм. Процес нарізання канавок представлено на рис. 1.8, конструкцію інструменту – на рис. 1.9.

Також компанією ISCAR представлено нову модульну систему (рис. 1.01)

для нарізання торцевих канавок та вирізання отворів, що має можливість регулювання із застосуванням зубчастого механізму. Така система може застосовуватись на оброблюючих центрах і токарних верстатах і характеризується підвищеною жорсткістю та функціональністю.



Рисунок 1.8 – Процес нарізання торцевих канавок інструментом компанії ISCAR [25]



Рисунок 1.9 – Конструкція інструменту DCT CHAMDRILL компанії ISCAR для нарізання торцевих канавок [25]

Система базується на розточних головках HSK 63 та CAMFIX C6 із регульованими картриджами, на яких можуть кріпитись адаптери HELIFACE і TANGFACE для різних діаметрів, а також ріжучі пластини HFPR та TNF шириною 3, 4, 5 та 6 мм.



Рисунок 1.10 – Модульна система компанії ISCAR для нарізання торцевих канавок та вирізання отворів [25]

1.2. Висновки та постановка завдань

В результаті аналізу процесу нарізання торцевих круглих канавок на плоских поверхнях деталей машин встановлено, що зазвичай використовують два основних способи. Перший спосіб полягає в наданні обертового руху заготовці на токарному верстаті та подачі до заготовки нерухомого інструменту. Другий спосіб полягає у фрезеруванні торцевої канавки кінцевою фрезою. Ці способи мають свої переваги та недоліки. При фрезеруванні кінцевою фрезою значно зростає цикл обробки а також виникають поломки інструменту. Крім того, такі інструменти можуть формувати лише канавки симетричного профілю

У кваліфікаційній роботі вирішуються такі завдання:

1. Провести дослідження методом кінцевих елементів із застосуванням

прикладного програмного забезпечення напружено-деформованого стану спеціального інструменту при нарізанні торцевої канавки на плоскій поверхні.

2. Одержати графічні відображення напружень та деформацій, що виникають у елементах спеціального інструменту при нарізанні торцевої канавки на плоскій поверхні.

3. Представити результати експериментальних досліджень з виведенням рівняння регресії залежності моменту різання M при нарізанні торцевої канавки спеціальним інструментом із двома різцями від глибина різання t , подачі S на один різець та максимального зовнішнього діаметра D канавки.

4. Вдосконалити технологічний процес виготовлення корпусу 737140.042.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1. Дослідження методом кінцевих елементів напружено-деформованого стану спеціального інструменту при нарізанні торцевої канавки на плоскій поверхні

Процес нарізання торцевих канавок на плоских поверхнях корпусів, плит та інших деталей широко використовується у багатьох галузях промисловості, зокрема аерокосмічної, нафтової та газової, при виробництві гідравлічних та пневматичних систем. Особливо важливими торцеві канавки є у виробництві герметичних систем, в яких у торцевих канавках розміщуються ущільнюючі елементи. Торцеві канавки можна нарізати кінцевими фрезами із застосуванням верстатів з ЧПК, або спеціальними інструментами із одним або двома різцями на розточних, фрезерних верстатах, або верстатах з ЧПК. Формування торцевої канавки за допомогою спеціального інструменту є ефективнішим ніж фрезерування кінцевою фрезою методом кругової інтерполяції, особливо при формуванні канавок великих діаметрів. Якщо поверхня канавки використовується для герметизації, то найбільш прийнятним методом є її формоутворення за допомогою спеціального інструмента із різцями, що забезпечує найвищу точність. Один спеціальний інструмент можна використовувати для різних діаметрів формування канавок завдяки можливості налагодження різців, що розміщені на картриджах методом їх переміщення та фіксації в радіальному напрямку.

Два картриджі із різцями можна закріплювати на одній оправці, при цьому різці можуть одночасно обробляти торцеву канавку однакового діаметра, або ж вони можуть бути налаштовані на різні діаметри для формування однієї широкої канавки, або окремих канавок за один перехід. Використання двох картриджів із різцями для обробки однакового діаметра канавки дозволяє підвищити сумарну величину подачі інструмента та продуктивність різання. Також можна застосовувати тільки один картридж з різцем. Така модульна

система зменшує витрати на виробництво спеціальних інструментів для різних діаметрів торцевих канавок. Також такий інструмент можна використовувати для формування великих отворів, що є значно ефективнішим, ніж процес свердління.

Схема процесу нарізання торцевої канавки на плоскій поверхні плити спеціальним інструментом із двома різцями представлена на рисунку 2.1. Оправка 1 встановлюється у шпинделі розточного верстата. На нижньому торці оправки встановлено два картриджі 2, що можуть переміщуватись та фіксуватись в радіальному напрямку для забезпечення формоутворення торцевих канавок 5 різних діаметрів на плиті 4. На кожному картриджі 2 встановлено по одному різцю 3 із радіусною державкою і твёрдосплавною пластиною. Оправці надається обертовий рух проти годинникової стрілки, а також вертикальний рух подачі. При недостатній потужності приводу верстата можна використовувати тільки один різець.

В межах досліджень, представлених у кваліфікаційній роботі, виконано трьохмірне зображення спеціального інструменту для нарізання торцевої канавки на плоскій поверхні плити (рис. 2.1). Для дослідження напружено-деформованого стану конструктивних елементів спеціального інструменту при дії зовнішнього навантаження використано прикладне програмне забезпечення, що дозволяє генерувати кінцево-елементну сітку створеної моделі. Зовнішнє навантаження відповідало векторним величинам сил різання, що виникають в процесі різання.

Під час досліджень проектувались різні варіанти спеціального інструменту з вибором окремої конструкції. Після цього відбувався вибір матеріалу із характеристиками міцності, генерування кінцево-елементної сітки моделі, накладання обмежень на місце кріплення інструменту у шпинделі верстата (рис. 2.2), прикладання сил різання на різучі кромки двох різців (рис. 2.3). В результаті оброблення даної інформації одержали графічне відображення величин напружень (рис. 2.4) та деформацій (рис. 2.5) в конструктивних елементах спеціального інструменту.

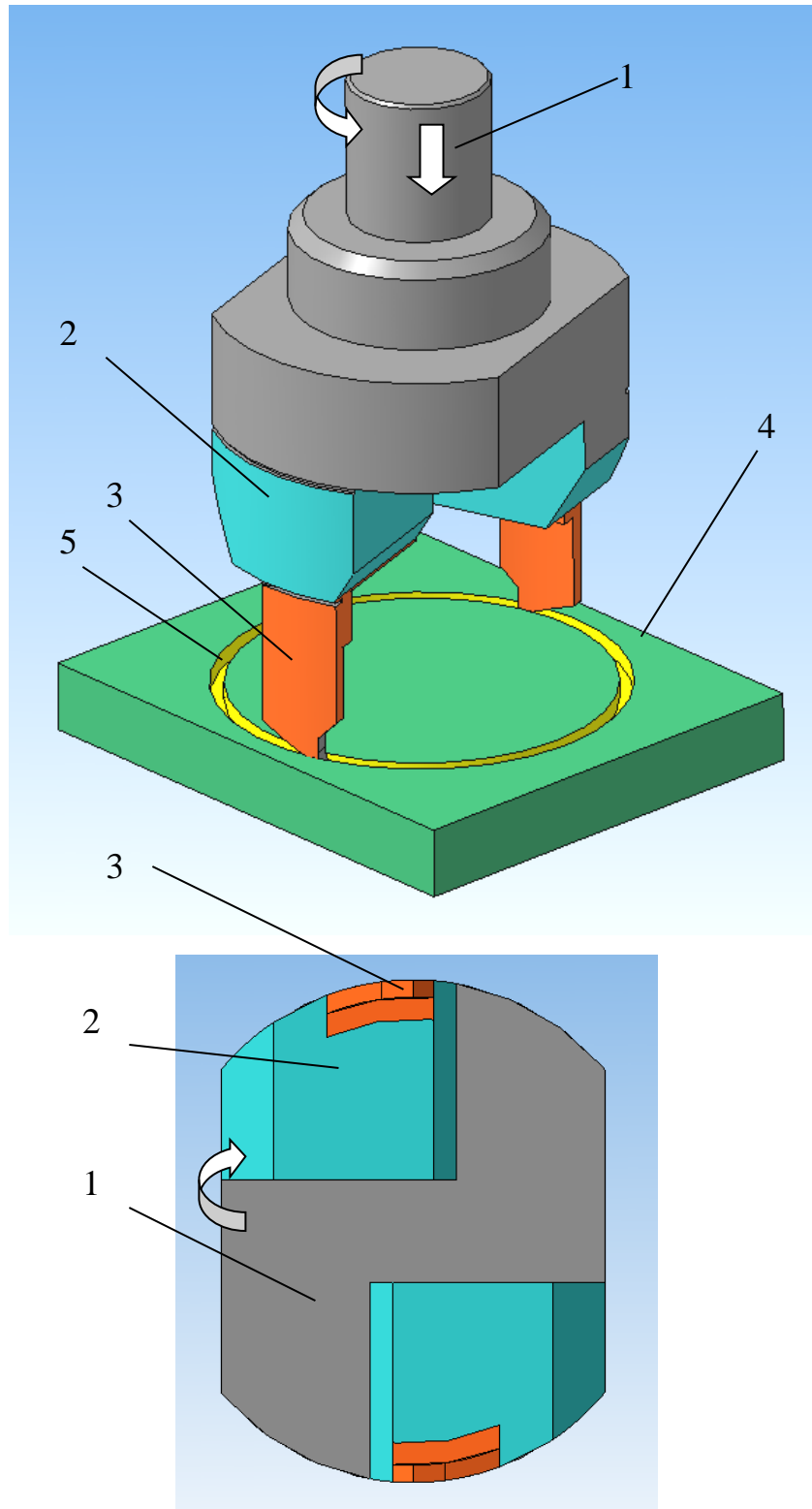


Рисунок 2.1 – Схема процесу нарізання торцевої канавки на плоскій поверхні плити спеціальним інструментом із двома різцями: а) трьохмірне зображення; б) вигляд знизу на інструмент; 1 – оправка, 2 – картридж; 3 – різець; 4 – плита; 5 – торцева канавка

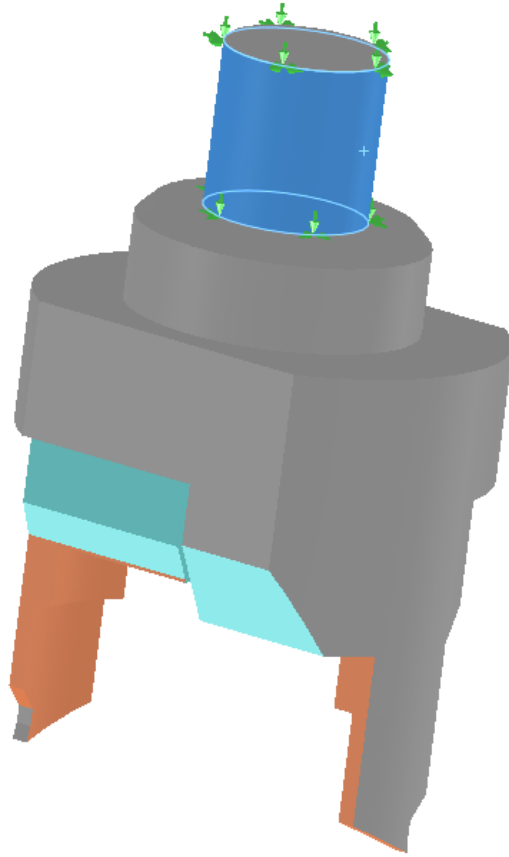


Рисунок 2.2 - Накладання обмежень на місце кріплення інструменту у шпинделі верстата

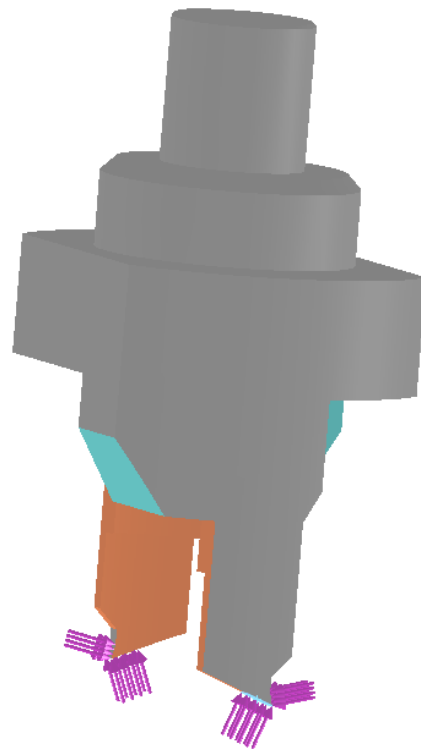


Рисунок 2.3 - Прикладання сил різання на ріжучі кромки двох різців

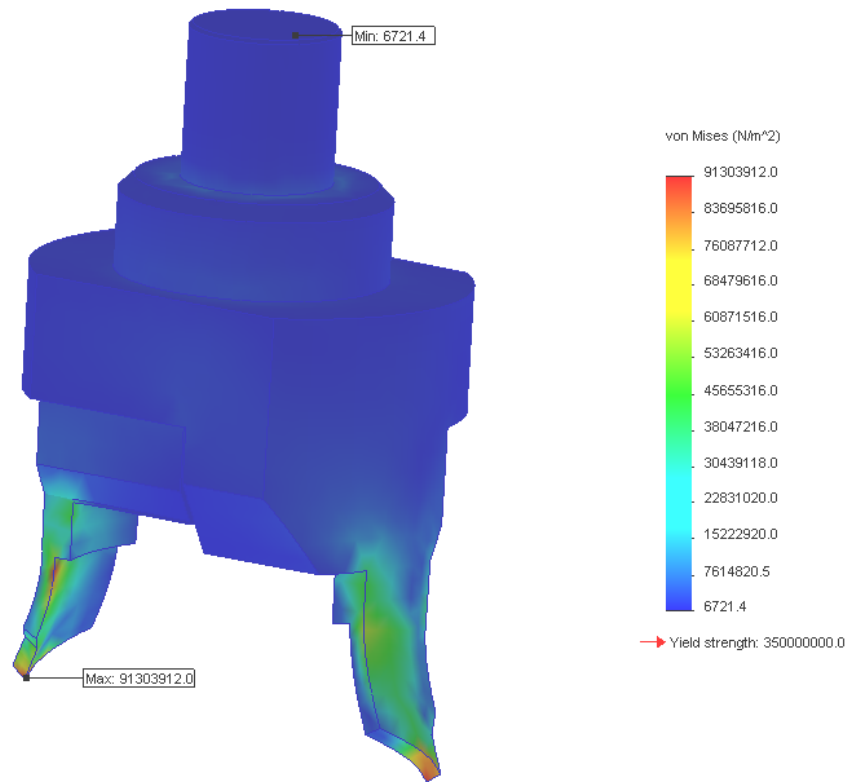


Рисунок 2.4 - Відображення величин напружень в конструктивних елементах спеціального інструменту

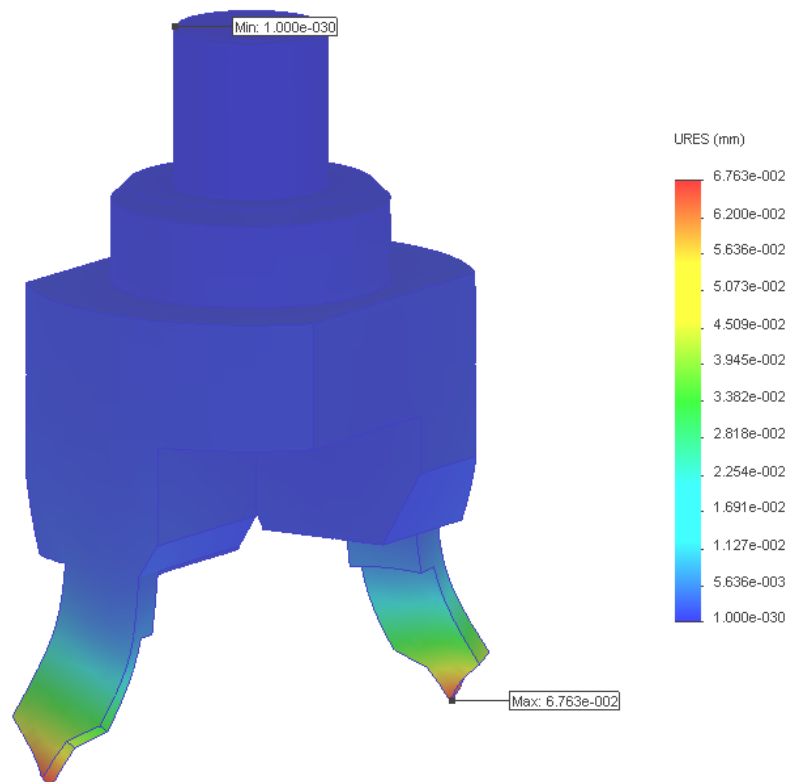


Рисунок 2.5 - Відображення величин деформацій в конструктивних елементах спеціального інструменту

В результаті аналізу рис. 2.4 та 2.5 встановлено, що при зовнішньому навантаженні 800 Н максимальні напруження та деформації виникають при вершинах різців і становлять 91 МПа та 0,0067 мм відповідно. Ці значення не перевищують границю текучості матеріалів і не знижують суттєво точні нарізання торцевої канавки.

На основі зміни зовнішнього навантаження від 600 Н до 1000 Н одержали графіки залежності максимальних напружень (рис. 2.6), та деформацій (рис. 2.7), що виникають при вершинах різців від величини зовнішнього навантаження.

На основі графіків рис. 2.6 та 2.7 встановлено, що величини напружень та деформацій у різцях прямопропорційно залежать від величини зовнішнього навантаження у вигляді тангенціальної сили різання канавок. Мінімальна величина напружень становить 64 МПа, а максимальна – 123 МПа. Мінімальна величина деформацій становить 0,047 мм, а максимальна – 0,088 мм.

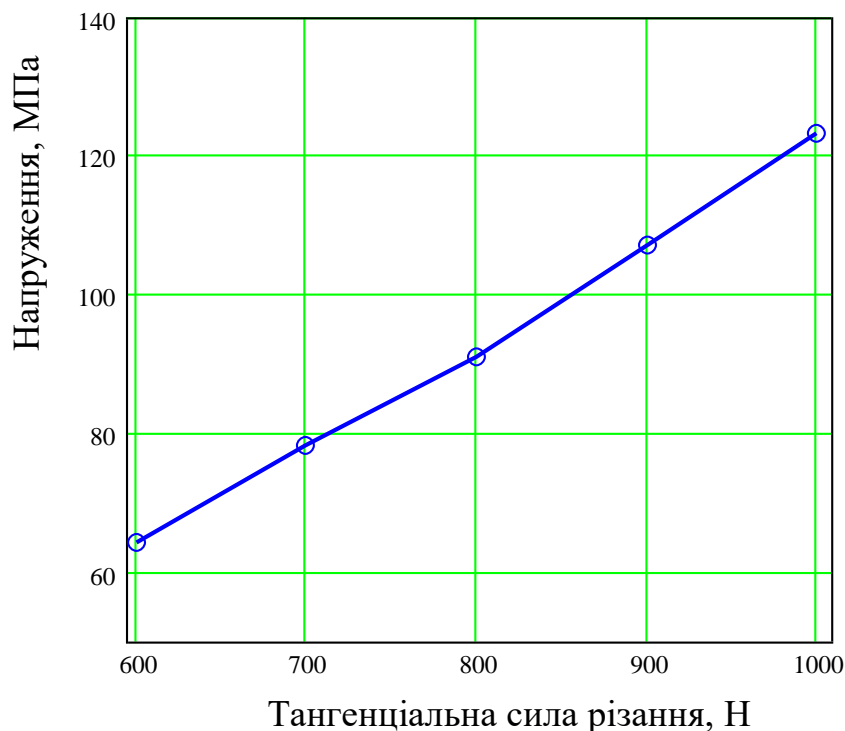


Рисунок 2.6 - Графік залежності максимальних напружень, що виникають при вершинах різців від величини зовнішнього навантаження

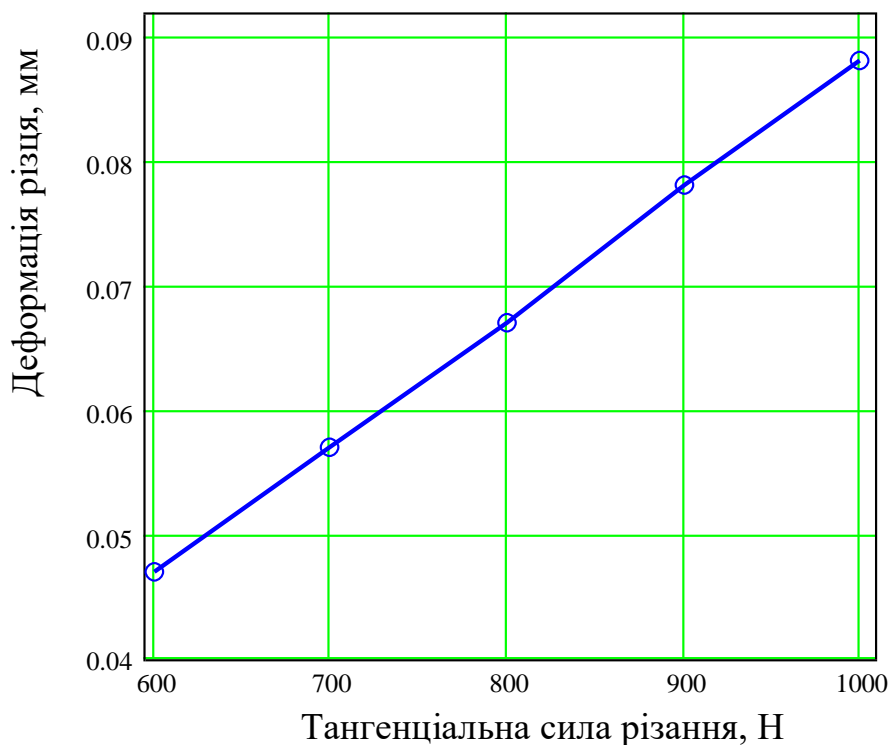


Рисунок 2.7 - Графік залежності максимальних деформацій, що виникають при вершинах різців від величини зовнішнього навантаження

2.2. Результати експериментальних досліджень крутного моменту нарізання торцевої канавки спеціальним інструментом

Під час виконання кваліфікаційної роботи проведено ряд експериментальних досліджень процесу нарізання торцевої канавки на плоскій поверхні заготовки спеціальним інструментом, конструкція якого представлена на рис. 2.1. Зокрема досліджено крутний момент M нарізання торцевої канавки спеціальним інструментом із двома різцями, що дозволяє визначати тангенціальну складову сили різання а також потужність, що витрачається при формуванні канавки. Відповідно вказані параметри є визначальними при проектуванні інструментів та технологічних процесів із вибором обладнання.

Нарізання канавок різних діаметральних розмірів проведено на вертикально-розточному верстаті. У конструкції інструменту використано два картриджі, що можуть переміщуватись та фіксуватись в радіальному напрямку для забезпечення формоутворення торцевих канавок різних діаметрів на

заготовці. На кожному картриджі встановлювали по одному різцю із радіусною державкою і твердосплавною пластиною T15K6. Оправці надавався обертовий рух проти годинникової стрілки, а також вертикальний рух подачі.

Для вимірювання крутного моменту використано частотний перетворювач Altivar 71, що приєднувався до двигуна верстата, а також програмне забезпечення PowerSuit, яке дозволяло одержувати значення крутних моментів при різних етапах нарізання канавки. Для статистичної обробки результатів замірів відбирались максимальні значення крутних моментів різання. Матеріал заготовки сталь Сталь 45.

Перед початком експерименту відбувалось його планування відповідно до план-матриці повнофакторного експерименту із трьома незалежними змінними входними параметрами на трьох рівнях. Попередні дослідження та літературний огляд дозволив встановити, що основними факторами, які впливають на крутний момент M нарізання торцевої канавки є: подача S на один різець, глибина різання t , що дорівнює ширині канавки, та максимальний зовнішній діаметр D канавки.

Відповідно досліджуваній крутний момент M нарізання торцевої канавки спеціальним інструментом представлено у вигляді функції $M = f(S, t, D)$.

Визначено межі варіювання основних змінних факторів:

- подача на один різець $S = 0,06 - 0,14$ мм/об;
- глибина різання $t = 2 - 4$ мм;
- максимальний зовнішній діаметр канавки $D = 0,030 - 0,080$ м.

Визначено нульові рівні кожного із факторів:

- для подачі S на один різець:

$$X_{01} = \frac{0,06 + 0,14}{2} = 0,1 \text{ (мм/об);} \quad (2.1)$$

- для глибини різання t :

$$X_{02} = \frac{2 + 4}{2} = 3 \text{ (мм);} \quad (2.2)$$

- для максимального зовнішнього діаметра канавки D :

$$X_{03} = \frac{0,030 + 0,080}{2} = 0,055 \text{ (м/хв)}. \quad (2.3)$$

Інтервали варіювання факторів та їх кодовані значення:

$$\Delta X_1 = \frac{0,14 - 0,06}{2} = 0,04 \text{ (мм/об)}; \quad x_1 = \frac{S - 0,1}{0,04}; \quad (2.4)$$

$$\Delta X_2 = \frac{4 - 2}{2} = 1 \text{ (мм)}; \quad x_2 = \frac{t - 3}{1}; \quad (2.5)$$

$$\Delta X_3 = \frac{0,080 - 0,030}{2} = 0,025 \text{ (м)}; \quad x_3 = \frac{D - 0,055}{0,025}. \quad (2.6)$$

Результати вибору основних факторів, що впливають на крутний момент M нарізання торцевої канавки та вибір рівнів їх варіювання представлено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Змінні фактори що впливають на крутний момент M нарізання торцевої канавки та вибір рівнів їх варіювання

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур.(кодовані)		
	натур.	код.				
Подача на один різець	S , мм/об	x_1	0,04	0,14 (+1)	0,1 (0)	0,06 (-1)
Глибина різання	t , мм	x_2	1	4 (+1)	3 (0)	2 (-1)
Максимальний зовнішній діаметр канавки	D , м	x_3	0,025	0,080 (+1)	0,055 (0)	0,030 (-1)

Рівняння регресії, що визначають взаємозв'язок вхідних факторів та крутний момент M нарізання торцевої канавки апроксимували поліномом другої степені. Значущість коефіцієнтів рівняння регресії визначали за критерієм Стюдента. Значення 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 45	39,222	12,519	9,379	17,477	3,056	5,676	4,251	-0,512	-0,442	0,0078

Коефіцієнт рівняння регресії b_{33} є незначущими відповідно до критерію Стьюдента.

Загальний вигляд рівняння регресії крутного моменту M нарізання торцевої канавки залежно від зміни: подачі S на один різець, глибини різання t , що дорівнює ширині канавки, та максимального зовнішнього діаметра D канавки, тобто $M_{(x_1, x_2, x_3)} = f(S, t, D)$ за результатами експериментів у кодованих величинах дорівнює:

$$M_{(x_1, x_2, x_3)} = 39,222 + 12,519x_1 + 9,379x_2 + 17,477x_3 + 3,056x_1x_2 + 5,676x_1x_3 + 4,251x_2x_3 - 0,512x_1^2 - 0,442x_2^2, \quad (2.7)$$

де x_1 - кодоване значення подачі S на один різець; x_2 - кодоване значення глибини різання t ; x_3 - кодоване значення максимального зовнішнього діаметра D канавки.

У натуральних величинах рівняння регресії крутного моменту M нарізання торцевої канавки різцями має вигляд:

$$M_{(S, t, D)} = 16,159 - 173,28S - 4,536t - 407,14D + 76,4St + 4251SD + 227,04tD - 0,512t^2 - 276,25S^2. \quad (2.8)$$

На основі даних експериментальних досліджень та рівняння регресії (2.8) за допомогою прикладного програмного забезпечення виконано креслення поверхонь відгуку та їх двомірних перерізів, що можна використовувати для визначення крутного моменту M нарізання торцевої канавки різцями перед виконанням процесу проектування інструментів. Графіки зображено на рисунках 2.8 – 2.12.

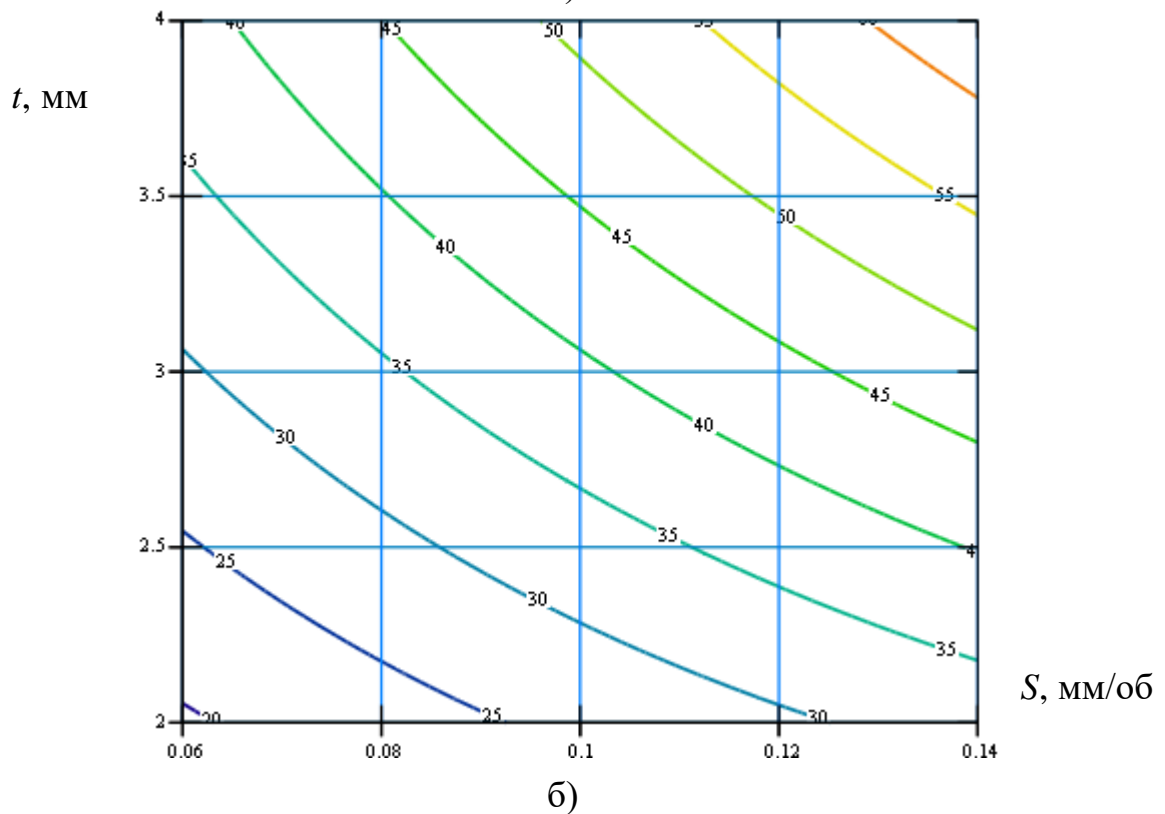
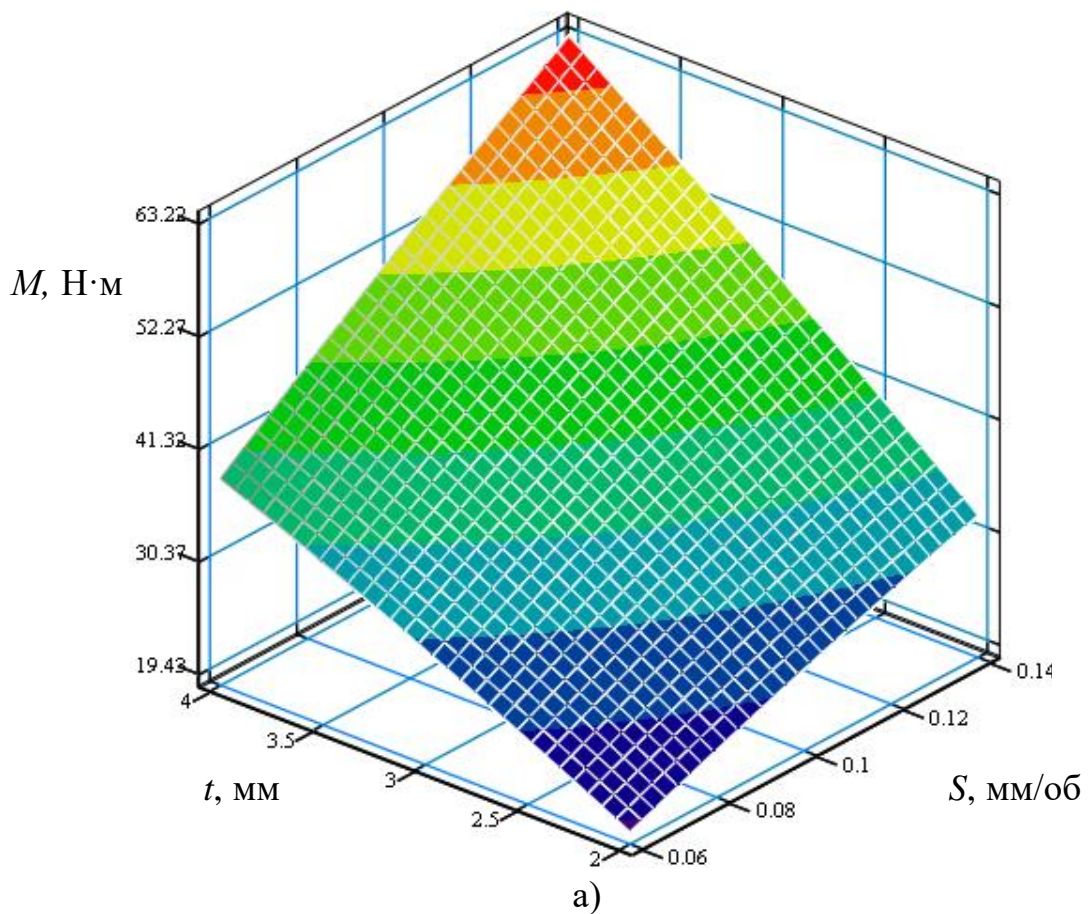
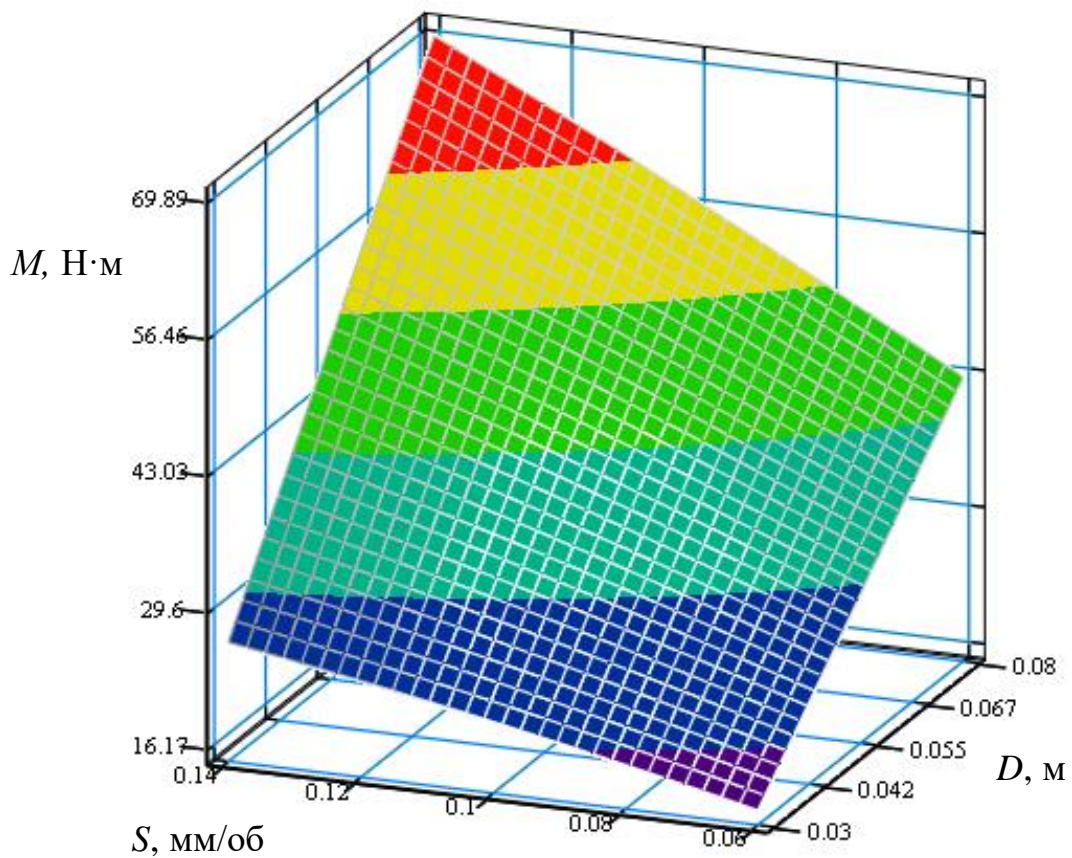
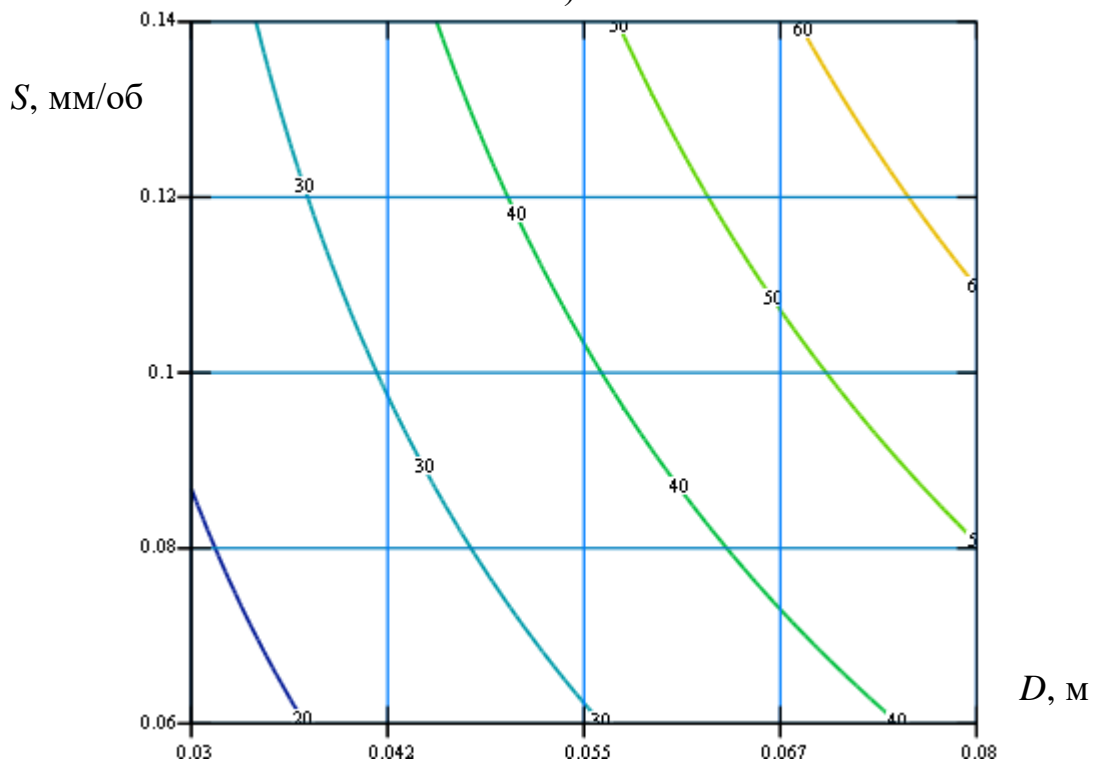


Рисунок 2.8 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності крутного моменту M нарізання торцевої канавки різцями від глибини різання t та подачі S на один різець ($D=0,055$ м)



а)



б)

Рисунок 2.9 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності крутного моменту M нарізання торцевої канавки різцями від подачі S на один різець та максимального зовнішнього діаметра D канавки ($t=3$ мм)

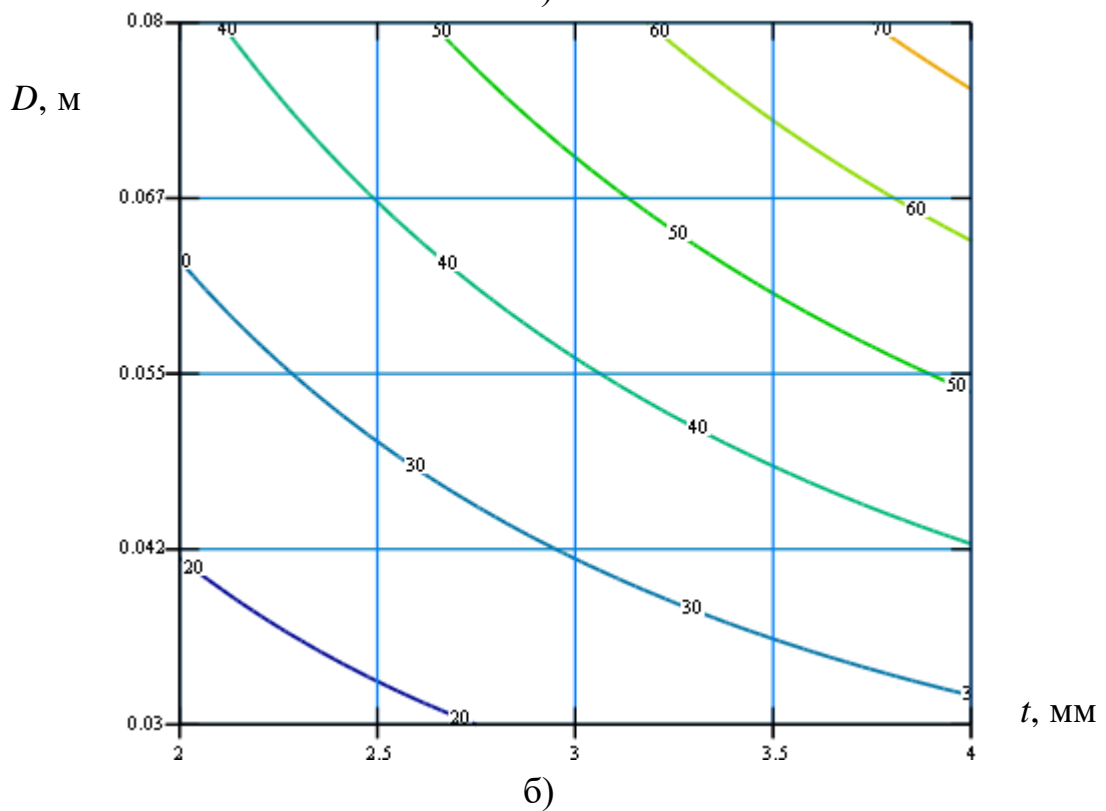
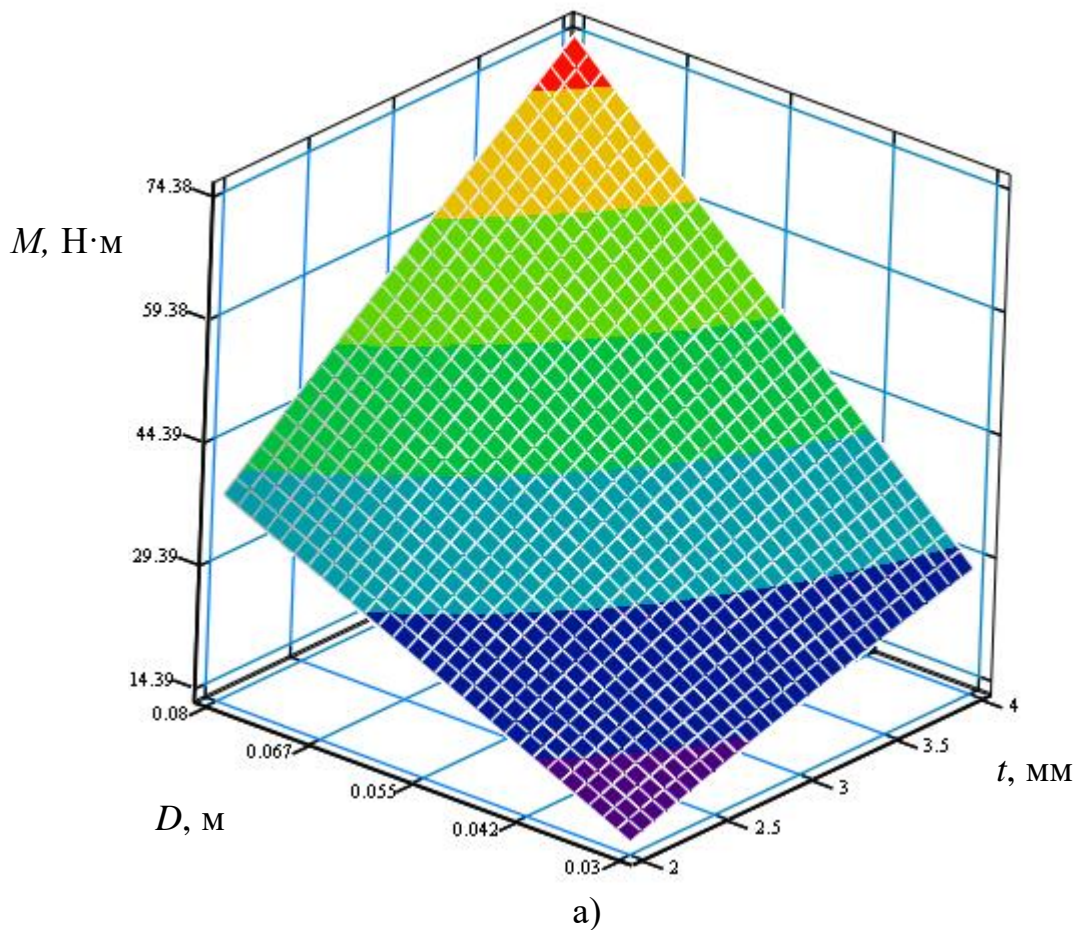


Рисунок 2.10 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності крутного моменту M нарізання торцевої канавки різцями від глибини різання t та максимального зовнішнього діаметра D канавки ($S=0,1$ мм/об)

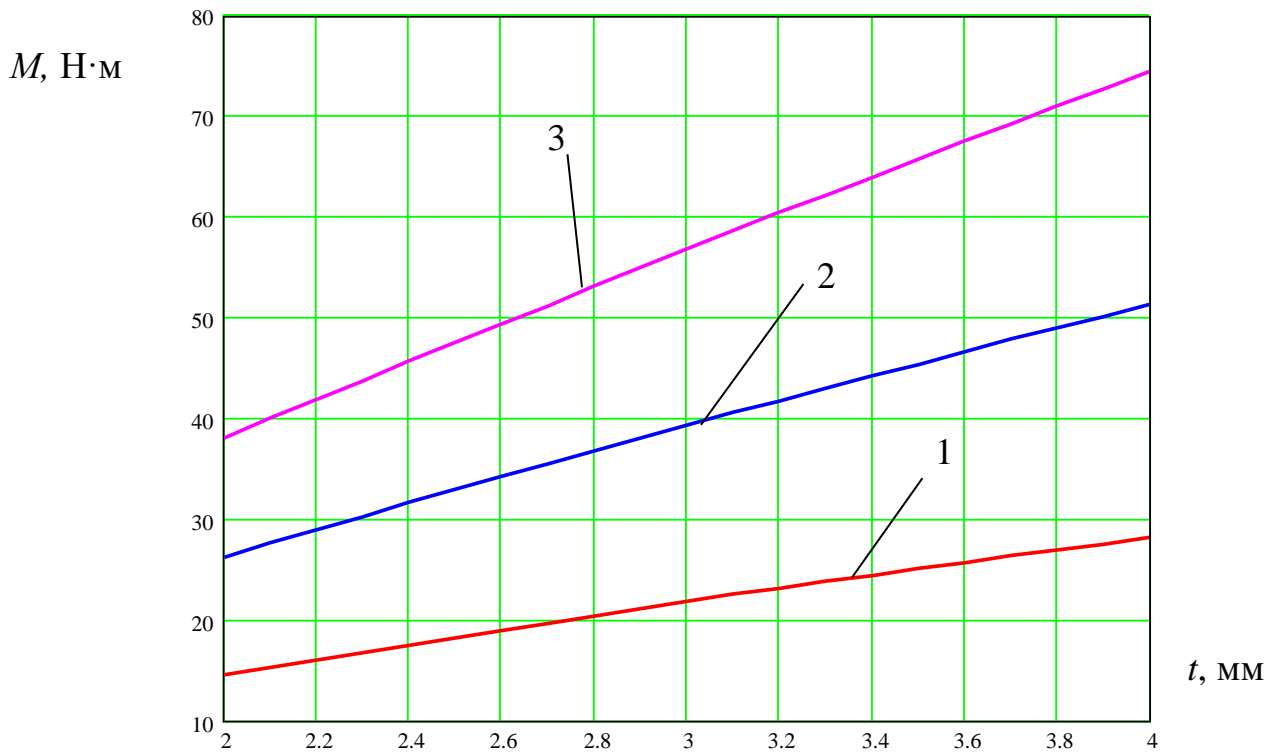


Рисунок 2.11 – Графіки залежності крутного моменту M нарізання торцевої канавки від глибини різання t : $S=0,1$ мм/об:
 1) $D=0,03$ м; 2) $D=0,055$ м; 3) $D=0,08$ м

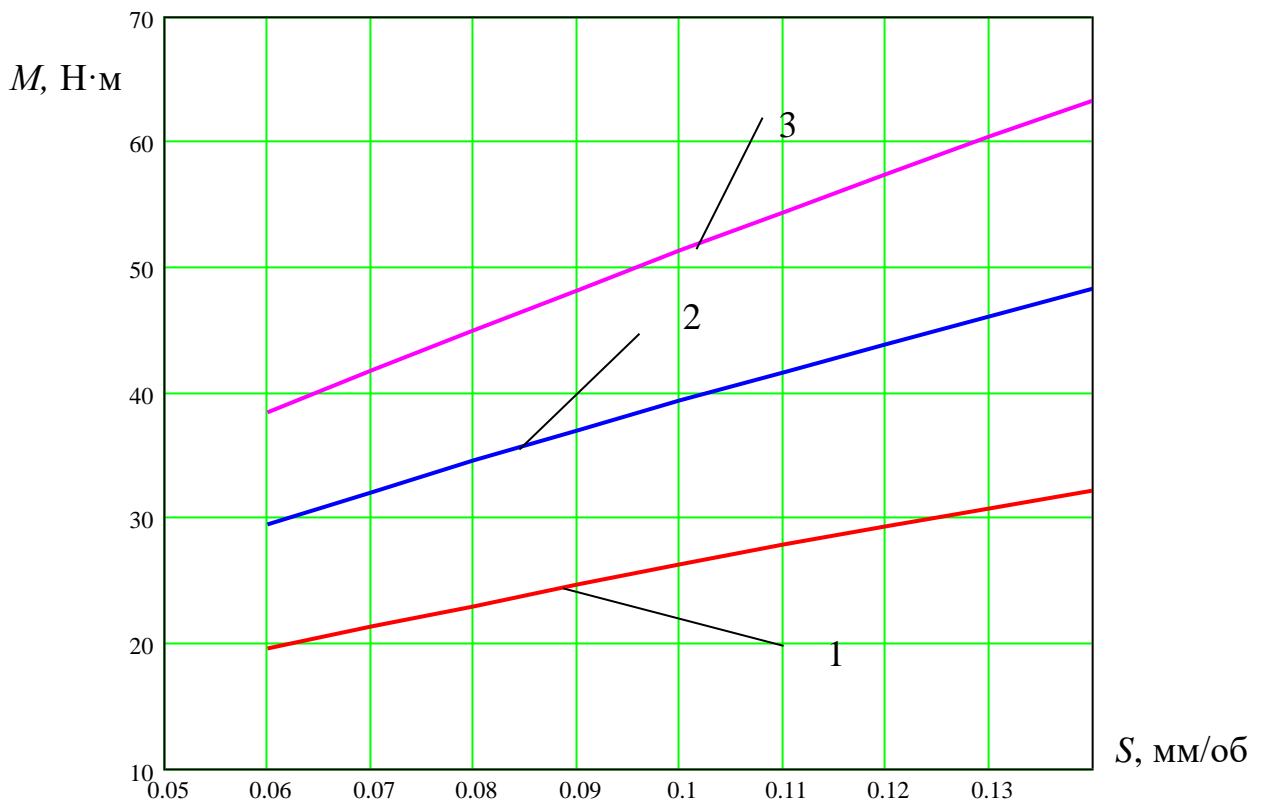


Рисунок 2.12 – Графіки залежності крутного моменту M нарізання торцевої канавки від подачі S на один різець $D=0,055$ м:
 1) $t=2$ мм; 2) $t=3$ мм; 3) $t=4$ мм

Рівняння регресії у кодованих (2.7) та натуральних (2.8) величинах адекватно відображають крутний момент M нарізання торцевої канавки спеціальним інструментом із двома різцями відповідно до критерію Фішера при таких параметрах:

$$0,06 \leq S \leq 0,14 \text{ (мм/об)}; 2 \leq t \leq 4 \text{ (мм)}; 0,03 \leq D \leq 0,08 \text{ (м)}.$$

В результаті аналізу представлених вище графіків встановлено, що найбільший вплив на крутний момент M нарізання торцевої канавки спеціальним інструментом із двома різцями має максимальний зовнішній діаметра D канавки. Менший вплив має глибина різання t і найменший – подача S на один різець. При збільшенні подачі S на один різець, глибини різання t , максимального зовнішнього діаметра D канавки крутний момент M нарізання торцевої канавки зростає.

Максимальне значення крутного моменту M нарізання торцевої канавки становить 91,86 Н·м, а мінімальне – 10,62 Н·м. Збільшення подачі S на один різець від 0,06 мм/об до 0,14 мм/об призводить до зростання крутного моменту M нарізання торцевої канавки в 1,97 рази. Збільшення глибини різання t від 2 мм до 4 мм призводить до зростання крутного моменту M нарізання торцевої канавки в 1,65 рази, а збільшення максимального зовнішнього діаметра D канавки від 0,03 м до 0,08 м призводить до зростання крутного моменту M нарізання торцевої канавки в 2,67 рази.

2.3. Висновки

Проведено дослідження методом кінцевих елементів напружено-деформованого стану спеціального інструменту при нарізанні торцевої канавки на плоскій поверхні.

Встановлено, що при зовнішньому навантаженні 800 Н максимальні напруження та деформації виникають при вершинах різців і становлять 91 МПа

та 0,0067 мм відповідно. Ці значення не перевищують границю текучості матеріалів і не знижують суттєво точності нарізання торцевої канавки.

На основі зміни зовнішнього навантаження від 600 Н до 1000 Н одержали графіки залежності максимальних напружень та деформацій, що виникають при вершинах різців від величини зовнішнього навантаження.

На основі графіків встановлено, що величини напружень та деформацій у різцях прямопропорційно залежать від величини зовнішнього навантаження у вигляді тангенціальної сили різання канавок. Мінімальна величина напружень становить 64 МПа, а максимальна – 123 МПа. Мінімальна величина деформацій становить 0,047 мм, а максимальна – 0,088 мм.

Представлено результати експериментальних досліджень крутного моменту M нарізання торцевої канавки спеціальним інструментом із двома різцями. Визначено, що найбільший вплив на крутний момент M нарізання торцевої канавки спеціальним інструментом із двома різцями має максимальний зовнішній діаметр D канавки. Менший вплив має глибина різання t і найменший – подача S на один різець. При збільшенні подачі S на один різець, глибини різання t , максимального зовнішнього діаметра D канавки крутний момент M нарізання торцевої канавки зростає.

Максимальне значення крутного моменту M нарізання торцевої канавки становить 91,86 Н·м, а мінімальне – 10,62 Н·м. Збільшення подачі S на один різець від 0,06 мм/об до 0,14 мм/об призводить до зростання крутного моменту M нарізання торцевої канавки в 1,97 рази. Збільшення глибини різання t від 2 мм до 4 мм призводить до зростання крутного моменту M нарізання торцевої канавки в 1,65 рази, а збільшення максимального зовнішнього діаметра D канавки від 0,03 м до 0,08 м призводить до зростання крутного моменту M нарізання торцевої канавки в 2,67 рази.

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Службове призначення деталі

Деталь “Корпус” 737140.042 застосовується для взаємного розміщення та захисту робочих елементів у промислових світлодіодних світильниках загального освітлення адміністративно-громадських приміщень.

Основними поверхнями деталі є: торцева поверхня 1 69_{-0,74}, Ra 12,8 - для встановлення кришки при збиранні світильника; поверхні 2 73_{-0,12}, 3 Ø40; h=20, 4 Ø25 120° ± 30', 14 М6-7Н, Rz 12,8 - для встановлення сальників; два отвори 6 М8-7Н, Ra 6,7 для кріплення іншого корпусу; три отвори 8 М4-7Н Ra 6,7 для встановлення панелі в корпусі; поверхні 9 М4-7Н, 10, Rz 6,7 для спряження корпусу з кришкою; два отвори 13 М6-7Н, Ra 6,7 для кріплення кришки до корпусу; отвір 13 М6-7Н, Ra 6,7 – для встановлення гвинта заземлення.

Аналіз технічних вимог представлено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Аналіз технічних вимог

Позначення поверхні (поверхонь)	Зміст технічної вимоги	Метод виконання	Метод контролю
1	2	3	4
1	Торцева поверхня 69 _{-0,74} ; Rz12,8	Точіння торця напівчистове	Калібр-скоба лінійний (69)
2	Зовнішня торцева поверхня 73 _{-0,12} ; Ra6,7	Фрезерування напівчистове, чистове	Штангенциркуль
3	Внутрішня циліндрична поверхня Ø40; h=20; Rz50	Литво	Калібр-пробка(Ø40) двосторонній двограничний 8133-0954Н9 Штангенциркуль
4	Конічна внутрішня поверхня Ø25 120° ± 30'; Rz50	Литво	Кутомір тип 1-2

Закінчення таблиці 3.1

1	2	3	4
5	Внутрішня циліндрична поверхня Ø25H7; Ra 1,6	Свердління Зенкерування Розвертання	Калібр-пробка(Ø25) двосторонній двограничний 8133-0954H7
6	Дві різьбові циліндричні внутрішні поверхні M8-7H; Ra6,7	Різенарізання мітчиком	Шаблон для вимірювання взаємного розміщення отворів
8, 9,10	Різьбова циліндрична внутрішня поверхня M4-7H; Ra6,7	Різенарізання мітчиком	Шаблон для вимірювання взаємного розміщення отворів
7	Внутрішня циліндрична поверхня Ø27H14; Ra6,7	Свердління	Калібр-пробка(Ø25) двосторонній двограничний 8133-0954H9
11	Зовнішня плоска поверхня 84 _{-0,87} ; Ra6,7	Фрезерування (напівчистове, чистове).	Штангенциркуль
12	Зовнішня плоска поверхня 6 _{-0,04} ; Ra6,7	Фрезерування (напівчистове, чистове).	Штангенциркуль
13	Дві різьбові циліндричні внутрішні поверхні M6-7H; Ra6,7	Різенарізання мітчиком	Шаблон для вимірювання взаємного розміщення отворів
14, 15, 17	Різьбова циліндрична внутрішня поверхня M6-7H; Ra6,7	Різенарізання мітчиком	Шаблон для вимірювання взаємного розміщення отворів
16	Зовнішня торцева поверхня 65 ^{+0,37} ; Ra6,7	Фрезерування напівчистове, чистове	Штангенциркуль

3.2. Вибір способу одержання заготовки

Заготовка деталі “Корпус” 737140.042 виготовляється методами литва із сплаву АК12, що має підвищену рідкотекучість і здатний заповнювати тонкостінні елементи. Тому запропоновано такі способи одержання заготовки:

- 1) литво у піщані форми підвищеної точності;
- 2) литво під тиском.

Для розрахунку маси заготовки використано формулу:

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

$q = 0,8$ кг – маса деталі;

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

Для розрахунку припусків заготовки використано узагальнені в результаті аналізу дані із таблиці 3.2.

Ескізи запропонованих варіантів литих заготовок представлено на рис. 3.1, 3.2.

Таблиця 3.2 – Припуски деталі “Корпус” 737140.042

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
литво у піщані форми підвищеної точності				
Торцева поверхня 69 _{-0,74}	Ra12,8	5,6	7,1	76,1±2,8
Зовнішня торцева поверхня 73 _{-0,12}	Ra6,7	5,6	7,2	80,2±2,8
Внутрішня циліндрична поверхня Ø25H7	Ra1,6	4,0	4,5 × 2 = 9,0	Ø16±2,0
Внутрішня циліндрична поверхня Ø27H14	Ra6,7	4,4	5,0 × 2 = 10,0	Ø17±2,2

Закінчення таблиці 3.2

1	2	3	4	5
Зовнішня плоска поверхня 84 _{-0,87}	Ra6,7	5,6	7,3 × 2 = 14,6	98,6±2,8
Зовнішня плоска поверхня б _{-0,04}	Ra6,7	2,2	3,6	9,6±2,2
Зовнішня торцева поверхня 65 ^{+0,37}	Ra6,7	5,6	6,4	71,4±2,8
литво під тиском				
Торцева поверхня 69 _{-0,74}	Ra12,8	1,00	1,2	70,2±0,5
Зовнішня торцева поверхня 73 _{-0,12}	Ra6,7	1,00	1,3	74,3±0,5
Внутрішня циліндрична поверхня Ø25H7	Ra1,6	0,80	1,3 × 2=2,6	Ø22,4±0,4
Внутрішня циліндрична поверхня Ø27H14	Ra6,7	0,90	1,3 × 2=2,6	Ø24,4±0,45
Зовнішня плоска поверхня 84 _{-0,87}	Ra6,7	1,1	1,4 × 2=2,8	86,8±0,55
Зовнішня плоска поверхня б _{-0,04}	Ra6,7	0,56	1,0	7±0,28
Зовнішня торцева поверхня 65 ^{+0,37}	Ra6,7	1,0	1,1	66,1±0,5

Визначаємо об'єми припусків запропонованих варіантів литих заготовок:

- литво у піщані форми підвищеної точності:

$$V_{\text{пр1}} = \pi \cdot (47,5^2 - 45^2) \cdot 7,1 + 2 \cdot 2,5 \cdot 30 \cdot 7,1 = 6214,12 \text{ мм}^3 = 6,21 \text{ см}^3.$$

$$V_{\text{пр2}} = \frac{\pi \cdot (46^2 - 40^2) \cdot 7,2}{4} = 2916,43 \text{ мм}^3 = 2,91 \text{ см}^3.$$

$$V_{\text{пр3}} = \frac{\pi \cdot (25^2 - (25 - 9)^2) \cdot 2}{4} = 579,33 \text{ мм}^3 = 0,57 \text{ см}^3.$$

$$V_{\text{пр4}} = \frac{\pi \cdot (27^2 - (27 - 10)^2) \cdot 2}{4} = 690,8 \text{ мм}^3 = 0,69 \text{ см}^3.$$

$$V_{\text{пр5}} = 32 \cdot 51 \cdot 14,6 = 23827,6 \text{ мм}^3 = 23,82 \text{ см}^3.$$

$$V_{\text{пр6}} = 20 \cdot 51 \cdot 3,6 = 1512 \text{ мм}^3 = 1,5 \text{ см}^3.$$

$$V_{\text{пр7}} = \frac{\pi \cdot (54^2 - 40^2) \cdot 6,4}{4} = 6611,58 \text{ мм}^3 = 6,61 \text{ см}^3.$$

$$V_{\text{пр}} = \sum V_{\text{прi}}, \quad (3.3)$$

$$V_{\text{пр}} = 6,21 + 2,91 + 0,57 + 0,69 + 23,82 + 1,5 + 6,61 = 42,31 \text{ см}^3.$$

- ЛИТВО ПІД ТИСКОМ

$$V_{\text{пр1}} = \pi \cdot (47,5^2 - 45^2) \cdot 1,2 + 2 \cdot 2,5 \cdot 30 \cdot 1,2 = 1050,4 \text{ мм}^3 = 1,05 \text{ см}^3.$$

$$V_{\text{пр2}} = \frac{\pi \cdot (46^2 - 40^2) \cdot 1,3}{4} = 526,57 \text{ мм}^3 = 0,52 \text{ см}^3.$$

$$V_{\text{пр3}} = \frac{\pi \cdot (25^2 - (25 - 2,6)^2) \cdot 2}{4} = 193,48 \text{ мм}^3 = 0,19 \text{ см}^3.$$

$$V_{\text{пр4}} = \frac{\pi \cdot (27^2 - (27 - 2,6)^2) \cdot 2}{4} = 398,4 \text{ мм}^3 = 0,39 \text{ см}^3.$$

$$V_{\text{пр5}} = 32 \cdot 51 \cdot 2,8 = 4569,6 \text{ мм}^3 = 4,56 \text{ см}^3.$$

$$V_{\text{пр6}} = 20 \cdot 51 \cdot 1,0 = 1020 \text{ мм}^3 = 1,02 \text{ см}^3.$$

$$V_{\text{пр7}} = \frac{\pi \cdot (54^2 - 40^2) \cdot 1,1}{4} = 1136,36 \text{ мм}^3 = 1,13 \text{ см}^3.$$

$$V_{\text{пр}} = 1,05 + 0,52 + 0,19 + 0,39 + 4,56 + 1,02 + 1,13 = 8,86 \text{ см}^3.$$

Загальні маси припусків:

– литво у піщані форми підвищеної точності:

$$m_{\text{пр1}} = 42,31 \cdot 2,6 = 110,01 \text{ г} = 1,1 \text{ кг}.$$

– литво під тиском:

$$m_{\text{пр2}} = 8,86 \cdot 2,6 = 23,036 \text{ г} = 0,23 \text{ кг.}$$

Визначаємо маси заготовок:

– литво у піщані форми підвищеної точності:

$$Q_1 = 0,8 + 1,1 = 1,9 \text{ кг.}$$

– литво під тиском:

$$Q_2 = 0,8 + 0,23 = 1,03 \text{ кг.}$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{q}{Q}, \quad (3.4)$$

– литво у піщані форми підвищеної точності:

$$K_{\text{в.м.1}} = \frac{0,8}{1,9} = 0,42.$$

– литво під тиском:

$$K_{\text{в.м.2}} = \frac{0,8}{1,03} = 0,78.$$

В результаті аналізу двох варіантів виготовлення заготовки деталі “Корпус” 737140.042 для розроблення технологічного процесу в умовах середньосерійного типу виробництва вибрано литво під тиском.

3.3. Формування технологічного процесу

Після вибору і розрахунку параметрів заготовки здійснено проектування технологічного процесу механічної обробки деталі “Корпус” 737140.042 з аналізом двох варіантів.

005. Токарно-револьверна.

2. Точити остаточно поверхню 1, витримуючи розмір $69_{-0,74}$.

3. Зняти деталь.

4. Перевірити розміри: $69_{-0,74}$. Контроль 30%.

010. Вертикально-фрезерна.

2. Фрезерувати попередньо поверхню 2, витримуючи розмір $73,5_{-0,83}$.

3. Фрезерувати остаточно поверхню 2, витримуючи розмір $73_{-0,12}$.

5. Перевірити розміри: $73_{-0,12}$. Контроль 30%.

я 015. Вертикально-фрезерна.

2. Фрезерувати попередньо поверхню 16, витримуючи розмір $65,5_{-0,84}$.

3. Фрезерувати остаточно поверхню 16, витримуючи розмір $65^{+0,37}$.

5. Перевірити розміри: $65^{+0,37}$. Контроль 30%.

020. Горизонтально-фрезерна.

2. Фрезерувати одночасно дві поверхні 11 і 12, витримуючи розміри $84_{-0,87}$; $6_{-0,04}$.

4. Перевірити розміри: $84_{-0,87}$; $6_{-0,04}$. Контроль 30%.

025. Вертикально-свердлильна.

2. Розсвердлити отвір 7, витримуючи розмір $\text{Ø}27\text{H}14$.

4. Перевірити розміри: $\text{Ø}27\text{H}14$. Контроль 30%.

030. Вертикально-свердлильна з ЧПК.

2. Розсвердлити отвір 5, витримуючи розмір $\text{Ø}24\text{H}14$.

3. Зенкерувати отвір 5, витримуючи розмір $\text{Ø}24,6\text{H}12$.

4. Рорзвернути отвір 5, витримуючи розмір $\text{Ø}25\text{H}7$.

6. Перевірити розміри: $\text{Ø}25\text{H}7$. Контроль 30%.

035. Вертикально-свердлильна з ЧПК.

2. Свердлити отвори 8, 9, 10 послідовно по програмі, витримуючи розміри $\varnothing 3,3H12$, 12.

3. Свердлити отвори 14, 15 послідовно по програмі, витримуючи розміри $\varnothing 5^{+0,3}$, 17, 20.

4. Нарізати різь М4–7Н в отворах 8, 9, 10 послідовно по програмі, витримуючи розміри М4–7Н, 8.

5. Нарізати різь М6–7Н в отворах 14, 15 послідовно по програмі, витримуючи розміри М6–7Н, 12, 14.

7. Перевірити розміри: М4–7Н, М6–7Н, 8, 12, 14. Контроль 30%.

040. Вертикально-свердлильна з ЧПК.

2. Свердлити два отвори 13 послідовно по програмі, витримуючи розміри $\varnothing 5^{+0,3}$, 20.

3. Нарізати різь М6–7Н в двох отворах 13 послідовно по програмі, витримуючи розміри М6–7Н, 16.

5. Перевірити розміри: М6–7Н, 16. Контроль 30%.

045. Вертикально-свердлильна з ЧПК.

2. Свердлити послідовно два отвори 6 послідовно по програмі, витримуючи розміри $\varnothing 6,5$, 14.

3. Свердлити отвір 17, витримуючи розміри $\varnothing 5^{+0,3}$, 14.

4. Нарізати різь М8–7Н в двох отворах 6 послідовно по програмі, витримуючи розміри М8–7Н, 10.

5. Нарізати різь М6–7Н в отворі 17, витримуючи розміри М6–7Н, 10.

7. Перевірити розміри: М6–7Н, 10, М8–7Н. Контроль 30%.

Операція 050 Контроль.

3.4. Визначення припусків на оброблення

Результати оформлено у вигляді таблиці 3.4.

Габаритні розміри заготовки: $\varnothing 125 \pm 0,6 \times 140,4 \pm 0,6 \times 70,2 \pm 0,5$.

Таблиця 3.4 – Розрахункові припуски деталі “Корпус” 737140.042

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 69 ^{-0,74}					
Напівчистове точіння	14	Ra12,8	0,74	1,2	69 ^{-0,74}
Заготовка	7- точн. розм.	R _z 50	1,0		70,2±0,5
Зовнішня торцева поверхня 73 ^{-0,12}					
Напівчистове, чистове фрезерування	10	Ra6,7	0,12	1,3	73 ^{-0,12}
Заготовка	7- точн. розм.	R _z 50	1,0		74,3±0,5
Зовнішня плоска поверхня 84 ^{-0,87}					
Напівчистове, чистове фрезерування	14	Ra6,7	0,87	1,4 × 2 = 2,8	84 ^{-0,87}
Заготовка	7- точн. розм.	R _z 50	1,1		86,8±0,55
Зовнішня плоска поверхня 6 ^{-0,04}					
Напівчистове, чистове фрезерування	10	Ra6,7	0,04	1	6 ^{-0,04}
Заготовка	7- точн. розм.	R _z 50	0,56		7±0,28
Зовнішня торцева поверхня 65 ^{+0,37}					
Напівчистове, чистове фрезерування	12	Ra6,7	0,37	1,1	65 ^{+0,37}
Заготовка	7- точн. розм.	R _z 50	1,0		66,1±0,5

Схема розташування припусків та допусків для поверхні $\varnothing 25H7^{+0,021}$ представлена на рис. 3.3.

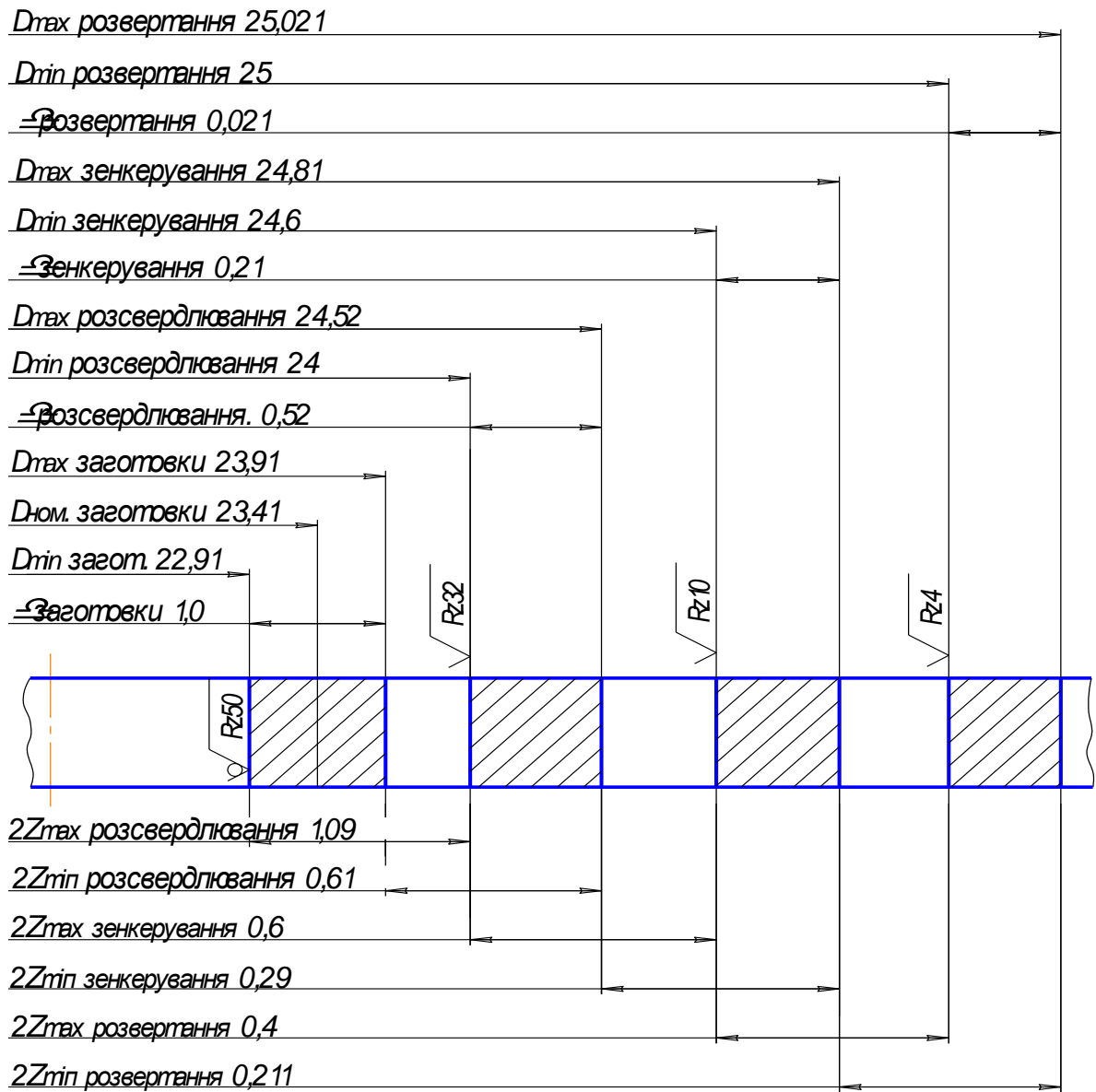


Рисунок 3.3 – Схема розташування припусків та допусків для поверхні

$\varnothing 25H7^{+0,021}$

3.5. Визначення режимів різання

Результати розрахунку режимів різання деталі “Корпус” 737140.042 подано у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Режими різання технологічного процесу виготовлення деталі
“Корпус” 737140.042

Номер, назва операції, зміст переходу	t, мм	L, мм	i	T _{мб} , хв	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	S _{мб} , мм/хв	T _{об} , хв	N, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005 Токарно-револьверна										
Перехід 2 Точити остаточно поверхню 1, витримуючи розмір 69 ^{-0,74} .	1,2	110	1	64	0,2	1488	604	298	0,37	0,4
010 Вертикально-фрезерна										
Перехід 2 Фрезерувати попередньо поверхню 2, витримуючи розмір 73,5 ^{-0,83} .	0,8	78	1	185	0,2	1117	701	224	0,35	0,8
Перехід 2 Фрезерувати остаточно поверхню 2, витримуючи розмір 73 ^{-0,12} .	0,5	78	1	185	0,2	1117	701	224	0,35	0,7
015 Вертикально-фрезерна										
Перехід 2 Фрезерувати попередньо поверхню 16, витримуючи розмір 65,5 ^{-0,84} .	0,6	74	1	185	0,2	1037	651	134	0,57	0,7
Перехід 3 Фрезерувати остаточно поверхню 16, витримуючи розмір 65 ^{+0,37} .	0,5	74	1	185	0,2	1037	651	134	0,57	0,6
020 Горизонтально-фрезерна										
Перехід 2 Фрезерувати одночасно дві поверхні 11 і 12, витримуючи розміри 84 ^{-0,87} ; 6 ^{-0,04} .	1,2	77	1	245	0,2	1018	801	203,9	0,38	1,9

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
025 Вертикально-свердлильна										
Перехід 2 Розсвердлити отвір 7, витримуючи розмір Ø27Н14.	1,3	11	1	77	0,9	351	29,4	316	0,04	0,4
030 Вертикально-свердлильна з ЧПК.										
Перехід 2 Розсвердлити отвір 5, витримуючи розмір Ø24Н14.	0,8	14	1	77	0,84	615	47,4	508	0,03	0,8
Перехід 3 Зенкерувати отвір 5, витримуючи розмір Ø24,6Н12.	0,3	14	1	60	0,84	622	48,5	516	0,03	0,7
Перехід 4 Розвернути отвір 5, витримуючи розмір Ø25Н7.	0,2	14	1	87	0,85	625	48	531	0,03	0,5
035 Вертикально-свердлильна з ЧПК										
Перехід 2 Свердлити отвори 8, 9, 10 послідовно по програмі, витримуючи розміри Ø3,3Н12, 12.	1,65	15,5	3	22	0,16	2001	20,8	324	0,15	0,03
Перехід 3 Свердлити отвори 14, 15 послідовно по програмі, витримуючи розміри Ø5 ⁺⁰³ , 17, 20.	2,5	25,5	2	22	0,17	2001	31,5	342	0,15	0,07
Перехід 4 Нарізати різь М4–7Н в отворах 8, 9, 10 послідовно по програмі, витримуючи розміри М4–7Н, 8.	0,606	18,2	3	11	0,7	642	8	449	0,08	0,05
Перехід 5 Нарізати різь М6–7Н в отворах 14, 15 послідовно по програмі, витримуючи розміри М6–7Н, 12, 14.	0,866	25	2	22	1,0	561	10,7	562	0,09	0,06

Закінчення таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
040 Вертикально-свердлильна з ЧПК										
Перехід 2 Свердлити два отвори 13 попередньо по програмі, витримуючи розміри $\varnothing 5^{+0,3}$, 20.	2,5	25,5	2	22	0,17	2001	31,5	342	0,15	0,07
Перехід 3 Нарізати різь М6–7Н в двох отворах 13 попередньо по програмі, витримуючи розміри М6–7Н, 16.	0,866	25	2	22	1,0	562	10,7	562	0,1	0,06
045 Вертикально-свердлильна з ЧПК										
Перехід 2 Свердлити два отвори 6 попередньо по програмі, витримуючи розміри $\varnothing 6,5$, 14.	3,25	20	2	22	0,1	1776	82	117,7	0,17	3,1
Перехід 3 Свердлити отвір 17, витримуючи розміри $\varnothing 5^{+0,3}$, 14.	2,5	25,5	1	22	0,17	2002	31,4	342	0,07	0,07
Перехід 4 Нарізати різь М8–7Н в двох отворах 6 попередньо по програмі, витримуючи розміри М8–7Н, 10.	1	14,5	2	22	1,25	501	12,6	627	0,05	0,08
Перехід 5 Нарізати різь М6–7Н в отворі 17, витримуючи розміри М6–7Н, 10.	0,866	15	1	22	1,0	562	10,7	564	0,03	0,06

Результати розрахунку технічних норм часу технологічного процесу виготовлення деталі “Корпус” 737140.042 подано у таблиці 3.6 та на графіку завантаження обладнання (рис. 3.4).

Таблиця 3.6 – Норми часу на механічну обробку деталі “Корпус”

737140.042

Номер та назва операції	T _о , хв	Допоміжний час, T _д 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 _{відпоч.}				
005 Токарно-револьверна	0,37	-	-	-	-	-	-	-	623	0,73
010 Вертикально-фрезерна	0,7	-	-	-	-	-	-	-		1,29
015 Вертикально-фрезерна	1,04	-	-	-	-	-	-	-		1,91
020 Горизонтально-фрезерна	0,38	-	-	-	-	-	-	-		0,7
025 Вертикально-свердлильна	0,04	-	-	-	-	-	-	-		0,07
030 Вертикально-свердлильна з ЧПК	0,25	0,16	0,5	0,165	0,02	0,02	0,955	27,6		1,0
035 Вертикально-свердлильна з ЧПК	0,47	-	-	-	-	-	-	-		0,81
040 Вертикально-свердлильна з ЧПК	0,25	-	-	-	-	-	-	-		0,43
045 Вертикально-свердлильна з ЧПК	0,22	-	-	-	-	-	-	-		0,38

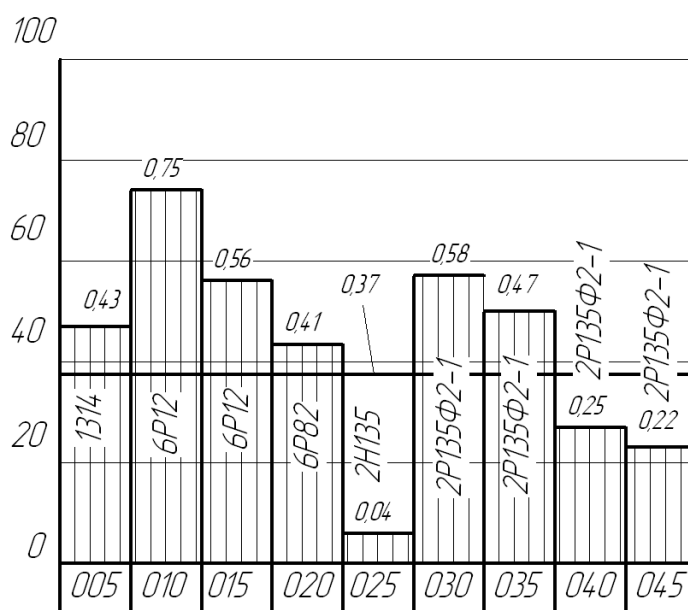


Рисунок 3.4 – Графік завантаження обладнання

3.6. Розрахунок пристосування

Для фрезерування пазів в розмір 84_{-0,87} деталі “Корпус” 737140.042 розроблено спеціальний пристрій для базування та закріплення заготовки. Базування заготовки здійснюється на установочний палець 12 внутрішніми циліндричними поверхнями $\varnothing 25h7$ та $\varnothing 27h14$ та на торцеву поверхню пальця торцевою плоскою поверхнею 65мм. Орієнтація деталі здійснюється по пазах 6мм за допомогою двох шпонок 11. Затиск здійснюється від пневмоциліндра 2 двосторонньої дії через тягу 13 та швидкознімну шайбу 14 по зовнішній циліндричній поверхні заготовки $\varnothing 46$ мм. (пристрій представлено у графічній частині)

Похибку установки заготовки у пристрої визначено за відомою формулою [11]:

$$\Delta \varepsilon_y = \sqrt{\Delta \varepsilon_6^2 + \Delta \varepsilon_3^2 + \Delta \varepsilon_{\text{пр}}^2} . \quad (3.5)$$

Для розрахунку похибки базування використано розрахункову схему на рис. 3.5.

Похибка базування на розмір 84_{-0,87} дорівнює максимальному зазору між зрізаним пальцем і отвором $\varnothing 25H7$:

$$\varepsilon_{684} = S_{\text{max}} ; \quad (3.6)$$

$$S_{\text{max}} = ES - ei . \quad (3.7)$$

Оскільки посадка між отвором і пальцем H7/g6, тоді:

$$\varepsilon_{684} = 0,021 - (-0,020) = 0,041 \text{ мм} .$$

Похибка закріплення дорівнює $\varepsilon_{384} = 0,06$ мм. Пристосування виготовлено, витримуючи точність до $\varepsilon_{\text{пр}84} = 0,03$ мм.

Отже, підставляючи дані у рівняння (3.5), одержуємо:

$$\varepsilon_{y84} = \sqrt{0,041^2 + 0,06^2 + 0,03^2} = 0,077 \text{ мм}$$

Похибка установки заготовки у пристосування є меншою допуску на деталь, що становить 0,87мм: $\varepsilon_{y84} = 0,077 \text{ мм} < \varepsilon_{y, \text{доп.}84} = 0,87 \text{ мм}$.

Визначення сили затиску заготовки проведено для фрезерування пазів в розмір 84_{-0,87} на горизонтально-фрезерній операції 020.

Розрахункова схема спеціального пристрою для базування та закріплення заготовки подана на рисунку 3.6.

Рівняння рівноваги моментів при затиску заготовки із коефіцієнтом запасу K :

$$KM_{\text{різ}} = \sum M_{\text{тр}}. \quad (3.8)$$

Момент тертя при затиску заготовки [20]:

$$\sum M_{\text{тр}} = P_{\text{зат}} \cdot R \cdot f_1 + \frac{2P_{\text{зат}} f_2 \cdot (R_2^3 - R_1^3)}{3(R_2^2 - R_1^2)}, \quad (3.9)$$

де $f_1 = f_2 = 0,2$; $R_1 = 20 \text{ мм}$; $R_2 = 27 \text{ мм}$; $R = 23 \text{ мм}$.

Момент різання під час фрезерування заготовки:

$$M_{\text{різ}} = 2 \cdot P_p \cdot r, \quad (3.10)$$

де $r = 50 \text{ мм}$.

$K = 2,6$.

Сила різання для фрезеруванні [16]:

$$P_p = \frac{10C_p \cdot t^x \cdot S_z \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w}, \quad (3.11)$$

де $C_p = 22,6$; $x = 0,86$; $y = 0,72$; $u = 1$; $q = 0,86$; $w = 0$.

$z=24$; $n=1019$ об/хв; $t=3,8$ мм; $S_z=0,15$ мм/зуб; $B=20$ мм; $D=250$ мм.

$$P_p = \frac{10 \cdot 22,6 \cdot 3,8^{0,86} \cdot 0,15 \cdot 20^{1,6}}{250^{0,86} \cdot 1019^0} = 111,5 \text{ Н.}$$

Отже, необхідна сила затиску заготовки (3.9):

$$P_{\text{зат}} = \frac{2 \cdot 2,6 \cdot 111,5 \cdot 50}{0,2 \cdot 23 + 2 \cdot 0,2 \cdot \frac{27^3 - 20^3}{3(27^2 - 20^2)}} = 3117,2 \text{ Н.}$$

Сила тяги на штоці пневмоциліндра [20]:

$$F = 0,785 \cdot (D_{\text{ц}}^2 - d_{\text{шт}}^2) \cdot p \cdot \eta, \quad (3.12)$$

$$F = 0,785 \cdot (0,12^2 - 0,020^2) \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot 0,9 = 3956 \text{ Н.}$$

Оскільки $F = 3956 \text{ Н} > P_{\text{зат}} = 3117,2 \text{ Н}$, то вимога надійного закріплення заготовки забезпечується.

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. Інженерний захист робітників підприємства

Інженерний захист робітників та службовців підприємства передбачає захист за допомогою колективних засобів захисту – захисних споруд. До захисних споруд належать сховища і протирадіаційні укриття [26]. Захисні споруди призначені для укриття населення від засобів масового ураження в особливий період та надзвичайних ситуацій у мирний час, та є основним видом колективного захисту населення. За захисними властивостями захисні споруди поділяють на типи: сховища; протирадіаційні укриття; найпростіші укриття.

Сховище - інженерна споруда, яка забезпечує захист осіб, що укриваються, від негативного впливу сучасних засобів ураження, бактеріальних (біологічних) засобів, від бойових отруйних речовин, а також при необхідності, від катастрофічного затоплення, небезпечних хімічних речовин, радіоактивних продуктів при руйнуванні ядерних енергетичних енергоустановок, високих температур і продуктів горіння при пожежах та передбачають можливість безперервного перебування у них розрахункової кількості осіб, що укриваються, протягом двох діб.

Основні вимоги, яким мають відповідати сховища:

1. Сховища повинні мати механічну міцність відповідно до класу і бути герметичними (від усіх видів зараження).

2. Сховища повинні забезпечити безперервне перебування в них людей не менше двох діб.

3. Сховища повинні бути розташовані на місцевості, що не затоплюється і на відстані не більше 600 м від місць роботи людей, для захисту яких вони призначені.

4. Через сховища забороняється проводити комунально-енергетичні мережі.

5. Вбудовані сховища слід розміщувати під невисокими (одно-, двоповерховими) будівлями, а окремо побудовані – на відстані від будинків, що більше або дорівнює їх висоті.

6. Сховища повинні мати подвійне призначення – для використання в мирний час та в надзвичайний стан мирного і воєнного часу. Коли захисні споруди не використовуються за своїм призначенням, вони за погодженням з територіальними органами з питань НС, МВС, пожежного нагляду, Держархбудконтролю, Держгірпромнагляду, санітарно-епідеміологічного нагляду можуть використовуватись для потреб господарства.

За призначенням у сховищах передбачаються основні і допоміжні приміщення: а) основні: приміщення для осіб, що укриваються; пункт управління; медичні пункти. б) допоміжні: тамбур-шлюзи, тамбури;

фільтровентиляційні камери; приміщення для дизельних електростанцій та електрощитових; санітарні вузли і станції перекачування; балонні; приміщення для ємностей запасу питної води; приміщення артезіанської свердловини; приміщення для продуктів харчування та ін., а для сховищ атомних станцій – приміщення для дозиметричного контролю, роздягальні, приміщення для брудного одягу, душові. Кількість місць у сховищі для лежання: 2-ярусні – 20% (від площі основних приміщень); 3-ярусні – 30 %. Кількість сховищ визначається загальною кількістю місць для сидіння (45×45 см) і лежання (0,55×1,8 м). Запас продуктів харчування закладається на 2 доби з розрахунку на 1 людину.

На об'єктах, де найбільша працююча зміна становить 600 чол. і більше, у сховищі передбачається приміщення для пункту управління. На кожні 500 чол. передбачається один санітарний пост площею 2 м².

Протирадіаційне укриття – призначене для захисту осіб, що укриваються, від впливу іонізуючого випромінювання при радіоактивному забрудненні місцевості і допускає безперервне перебування у ньому розрахункової кількості осіб, що укриваються, до двох діб.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведено дослідження методом кінцевих елементів напружено-деформованого стану спеціального інструменту при нарізанні торцевої канавки на плоскій поверхні.

Встановлено, що при зовнішньому навантаженні 800 Н максимальні напруження та деформації виникають при вершинах різців і становлять 91 МПа та 0,0067 мм відповідно. Ці значення не перевищують границю текучості матеріалів і не знижують суттєво точності нарізання торцевої канавки.

На основі зміни зовнішнього навантаження від 600 Н до 1000 Н одержали графіки залежності максимальних напружень та деформацій, що виникають при вершинах різців від величини зовнішнього навантаження.

На основі графіків встановлено, що величини напружень та деформацій у різцях прямопропорційно залежать від величини зовнішнього навантаження у вигляді тангенціальної сили різання канавок. Мінімальна величина напружень становить 64 МПа, а максимальна – 123 МПа. Мінімальна величина деформацій становить 0,047 мм, а максимальна – 0,088 мм.

Представлено результати експериментальних досліджень крутного моменту M нарізання торцевої канавки спеціальним інструментом із двома різцями. Визначено, що найбільший вплив на крутний момент M нарізання торцевої канавки спеціальним інструментом із двома різцями має максимальний зовнішній діаметра D канавки. Менший вплив має глибина різання t і найменший – подача S на один різець. При збільшенні подачі S на один різець, глибини різання t , максимального зовнішнього діаметра D канавки крутний момент M нарізання торцевої канавки зростає.

Максимальне значення крутного моменту M нарізання торцевої канавки становить 91,86 Н·м, а мінімальне – 10,62 Н·м. Збільшення подачі S на один різець від 0,06 мм/об до 0,14 мм/об призводить до зростання крутного моменту M нарізання торцевої канавки в 1,97 рази. Збільшення глибини різання t від

2 мм до 4 мм призводить до зростання крутного моменту M нарізання торцевої канавки в 1,65 рази, а збільшення максимального зовнішнього діаметра D канавки від 0,03 м до 0,08 м призводить до зростання крутного моменту M нарізання торцевої канавки в 2,67 рази.

Розроблено технологічний процес виготовлення корпусу 737140.042.

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., Малафеев 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. <https://www.productionmachining.com/articles/a-new-face-grooving-technique-for-mills>.
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. www.sandvik.coromant.com.
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. Хічій А. М., Приказюк В. М., Маслянка В. М. Дослідження величини деформації багатолезової оправки для розточування ступінчастого отвору. Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів "Актуальні задачі сучасних технологій": 6-7 грудня 2023 р.: тези доп. Тернопіль: вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2023. С. 44.
18. V. A. Grechishnikov, A. R. Maslov, P. M. Pivkin (2015), Tool System for Face Grooving Using CNC Machines, Engineering Research, Vol. 35, No. 11, pp. 814–817.
19. Javahir, I. S. and Luttermelt, C. A. (1993), Recent developments in cheap control research and applications, Ann. CIRP, 42(2), pp. 659-693.
20. Дичковський М. Г. Технологічна оснастка. Проектно-конструкторські розрахунки пристосувань: навч. посіб. Тернопіль : ТДТУ, 2001. 277 с.
21. Roberg, J., Ber A., Wertheim, R. (1991), Chip control in cut-off tools, Ann. CIRP, 40(1), pp. 73-77.
22. K. Sorby, K. Tonessen (2005), High-pressure cooling of face-grooving operations in Ti6Al4V, Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part B-journal of Engineering Manufacture, Vol. 220, No. 10, pp. 1621–1627.

23. Wertheim, R., Roberg, J., Ber A. (1992), Influence of high-pressure flushing through the rake face of the cutting tool, *Ann. CIRP*, 41(1), pp. 101-106.
24. 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.
25. <https://www.iscar.com.ua>.
26. Стручок В.С. “Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Навчальний посібник. Тернопіль, 2022. 150 с.
27. Andriy Diachun, Vasyl Vasykiv, Oleg Korol, Volodymyr Myhailiuk, Ivan Golovatyi, Andriy Kuras. Investigation of geometrical parameters in screw surfaces whirling process. *Вісник Тернопільського національного технічного університету*. 2021. № 1(101). С. 68–78.
28. 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.
29. 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.
30. 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.
31. Дячун А.Є., Дзюра В.О., Клендій В.М., Третьяков О.Л. Дослідження методом 3d сканування шорсткості гвинтових поверхонь після процесу ударного зміцнення. *Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей. Луцьк*, 2017. №38. С. 66-74.