

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 фланця 753.174.087 з
дослідженням процесу дорнування профільних отворів

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

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Сокіл П.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Окіпний І.Б.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Ткаченко І.Г.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Окіпний І.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2022

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи: “Розроблення технології виготовлення фланця 753.174.087 з дослідженням процесу дорнування профільних отворів”.

У кваліфікаційній роботі розглянуто процес дорнування отворів, що широко використовується для зниження шорсткості обробленої поверхні отвору деталей машин, підвищення його твердості та створення у верхніх шарах надлишкових напружень стиску, що знижує ймовірність утворення тріщин на таких поверхнях та дозволяє підвищити втомну міцність деталей.

Представлено схему процесу дорнування профільного отвору. Розроблено чотири варіанти виконання робочої частини інструменту з прямолінійними та радіусними елементами для дорнування профільного отвору: з конусною робочою частиною та прямолінійною частиною калібрування без радіусних робочих поверхонь, з радіусними спряженнями між конусною робочою частиною та прямолінійною частиною калібрування, з радіусними спряженнями між конусною робочою частиною та конусною частиною хвостовика, з радіусною робочою та калібрувальною частиною. Розроблено розрахункову схему для визначення силових параметрів процесу дорнування профільного отвору. Виведено рівняння для визначення зусилля дорнування профільного отвору інструментами із плоскими та радіусними робочими поверхнями. Побудовано графіки залежності загального зусилля дорнування профільного отвору від геометричних параметрів процесу.

Вдосконалено відомий технологічний процес виготовлення фланця 753.174.087.

ЗМІСТ

Вступ

1 Аналітична частина

1.1. Аналіз стану питання

1.2. Висновки та постановка завдань

2 Науково-дослідна частина

2.1. Дослідження силових параметрів процесу дорнування профільного отвору

2.2. Висновки

3 Технологічно-конструкторська частина

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Висновки

Перелік посилань

Додатки

ВСТУП

Після виконання процесу дорнування на поверхні отвору виникають пружно-пластичні деформації та залишкові напруження стиску. Надлишкові напруження стиску можуть зменшити місця концентрації напружень та відтермінувати зародження та поширення втомних тріщин. Такий спосіб є високоефективним для запобігання передчасного втомного руйнування від циклічного навантаження. Обробка дорнуванням застосовується для критично важливих отворів високо навантажених конструктивних елементів, таких як шасі літаків і місця кріплення двигунів.

Із подальшими дослідженнями процесу дорнування здійснено багато вдосконалень процесу в авіаційній промисловості а також запропоновано нові методи дорнування та їх дослідження із проектуванням різноманітних інструментів. На практиці найширше використовуються чотири способи дорнування отворів: дорнування кромки отвору, безпосереднє дорнування оправкою (без втулки), дорнування за допомогою кульки, дорнування із застосуванням розрізної втулки.

Не зважаючи те, що технології дорнування широко поширені при виготовленні, складанні та ремонту літаків, звичайні методи дорнування мають ряд недоліків. Процес дорнування без застосування втулки легко призводить до пошкодження поверхонь отвору та оправки а також таким способом важко забезпечити високу ступінь деформації матеріалу. Недоліками процесу дорнування із застосуванням розрізної втулки є необхідність застосування додаткової операції розвертання, а також кожна розрізна втулка може використовуватись для обробки тільки одного отвору. Це не тільки призводить до ускладнення технології але також до підвищення вартості виробництва. Тому подальше вдосконалення процесів дорнування із розробленням нових процесів є актуальним завданням.

Актуальним є також розроблення технологічного процесу виготовлення фланця 753.174.087.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Аналіз стану питання

Процес зміцнення поверхні отворів під кріпильні елементи за допомогою дорнування (cold expansion англ.) розроблено компанією Боїнг на початку 1970х років і спочатку використовувався для виробництва структурних компонентів бомбардувальника F/A-18 та інших літаків [16]. В процесі дорнування інструмент у вигляді конічної оправки подається через отвір, розмір якого менший на частки міліметра від розміру оправки. В наслідок такого процесу на поверхні отвору виникають пружно-пластичні деформації та залишкові напруження стиску.

Надлишкові напруження стиску можуть зменшити місця концентрації напружень та відтермінувати зародження та поширення втомних тріщин. Такий спосіб є високоефективним для запобігання передчасного втомного руйнування від циклічного навантаження [19]. Ця технологія застосовується для критично важливих отворів високо навантажених конструктивних елементів, таких як шасі літаків і місця кріплення двигунів.

Процес дорнування використовують не тільки при виробництві нових літаків, а також при їх сервісному ремонті. Із подальшими дослідженнями процесу дорнування здійснено багато вдосконалень процесу в авіаційній промисловості а також запропоновано нові методи дорнування та їх дослідження із проектуванням різноманітних інструментів.

На практиці найширше використовуються чотири способи дорнування отворів: дорнування кромки отвору, безпосереднє дорнування оправкою (без втулки), дорнування за допомогою кульки, дорнування із застосуванням розрізної втулки.

Процес дорнування кромки отвору виконується конічним індентером високої твердості або жорсткою кулькою шляхом деформування кромки отвору при дії осьової сили F . Схема такого процесу представлена на рис. 1.1. В

процесі розширення кромки отвору відбувається її пластична деформація матеріалу заготовки з генеруванням зони надлишкових напружень стиску. Однак, через те, що середня частина отвору не піддавалась безпосередньому зміцненню ефект до стійкості від втомного руйнування таким способом є обмеженим.

Тому процес дорнування кромки отвору не використовується під кріпильні отвори товстостінних елементів, а тільки для деталей із тонколистових матеріалів, наприклад для аеродинамічної обшивки літаків.

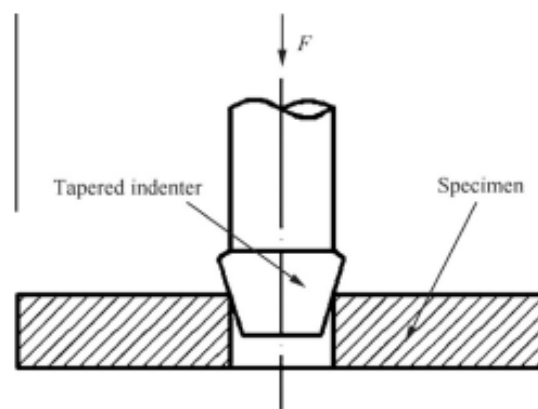


Рисунок 1.1 – Схема процесу дорнування кромки отвору [22]

Процес безпосереднього дорнування оправкою був одним із перших методів, що використовувався для зміцнення матеріалів проти втомного руйнування. При такому процесі відбувається штовхання змащеної конічної оправки через отвір заготовки із вилученням її із зворотної сторони заготовки. Схему процесу безпосереднього дорнування оправкою представлено на рисунку 1.2. Величина розширення отвору повинна бути такою, щоб забезпечувалась пластична деформація матеріалу заготовки.

Після вилучення оправки пружна частина матеріалу, що знаходиться біля зони деформування намагається повернутись в початковий стан до деформації, сприяючи утворенню необхідного розподілу надлишкових напружень стиску навколо отвору. Ці надлишкові напруження відтермінують зародження та поширення втомних тріщин, та сприяють підвищенню довговічності деталей

машин. Крім цього, завдяки безпосередньому контакту між оправкою та поверхнею отвору відбувається вигладжування поверхні отвору. Механізм зміцнення та ефективність зміцнення при такому процесі широко досліджені [23]. Процес широко використовується через простоту виконання.

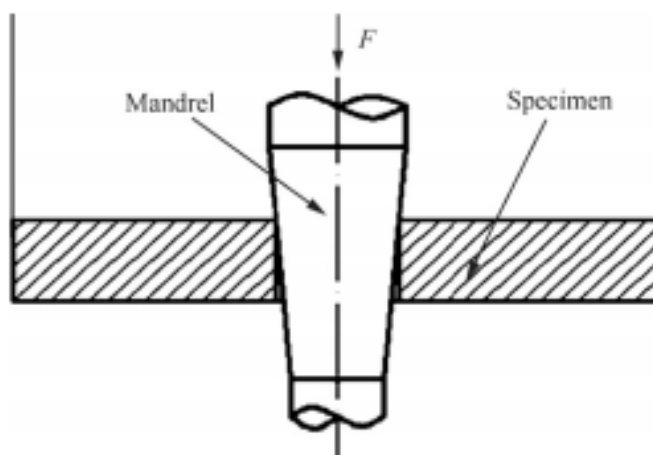


Рисунок 1.2 – Схема процесу безпосереднього дорнування оправкою [22]

Процес дорнування кулькою здійснюється проштовхуванням кульки підвищеної твердості через отвір плити, при цьому діаметр кульки на долі міліметра більший за діаметр отвору. [25, 26]. Схема такого процесу представлена на рис. 1.3. Сила тертя при такому процесі є меншою ніж при дорнуванні оправкою через утворення кільцеподібної локалізованої зони між поверхнею кульки та поверхнею отвору. Тому цей метод можна використовувати для оброблення із запобіганням втомного руйнування малих отворів в плитах із легованих сталей.

Позитивний ефект із підвищення втомної довговічності при використанні цього методу є меншим ніж при інших методах дорнування через утворення локалізованої кільцевої зони з надлишкових напружень розтягу на початковій ділянці отвору. Для усунення цієї проблеми досліджено процес дорнування отвору із використанням двох кульок. [27].

Основною перешкодою використання кульки або оправки в процесах дорнування отворів для кріпильних елементів є пошкодження поверхні отвору при взаємодії з інструментами.

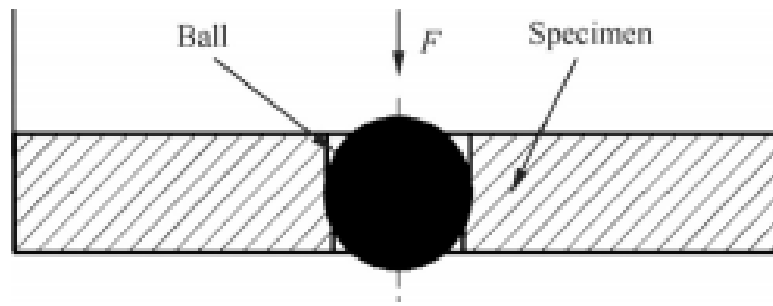


Рисунок 1.3 – Схема процесу дорнування кулькою [22]

Для подолання цієї проблеми розроблено процес дорнування отворів із застосуванням розрізної втулки. Схема такого процесу зображена на рис. 1.4. При цьому способі використовується конічна оправка та змащена розрізна втулка із нержавіючої сталі. Розрізна втулка розміщується на оправці в зборі вставляється в точно оброблений отвір.

Пластична деформація матеріалу генерується при переміщенні робочої частини оправки більшого діаметру через втулку. Потім оправку виймають із втулки, при цьому здійснюється віпружинення втулки, а втулку виймають із отвору. Внаслідок цього здійснюється пластична деформація поверхні отвору з утворення надлишкових напружень стиску. На поверхні сформованого отвору утворюються малі риски через наявність розрізу на втулці.

Після дорнування здійснюється операція розвертання для досягнення необхідної точності отвору і усунення рисок, а також це допомагає уникнути виникнення тріщин біля риски. Цей метод дорнування має переваги хорошої адаптованості, високої виробничої ефективності та малих пошкоджень поверхні отвору після обробки. Цей метод дорнування із розрізною втулкою найширше поширено в аерокосмічній промисловості порівняно із іншими методами дорнування особливо при обробці отворів із поганим доступом.

На рисунку 1.5 представлено типовий розподіл тангенціальних надлишкових напружень навколо отвору після дорнування.

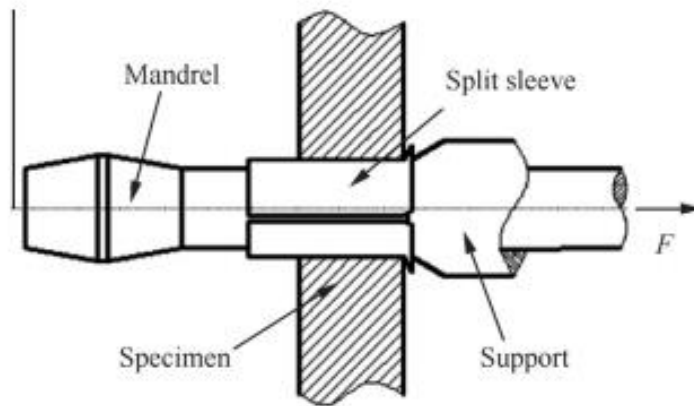


Рисунок 1.4 – Схема процесу дорнування отворів із застосуванням розрізної втулки [22]

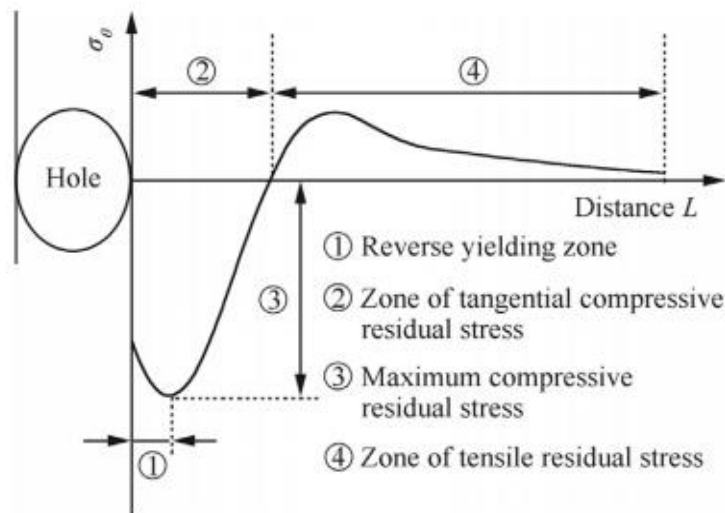


Рисунок 1.5 – Типовий розподіл тангенціальних надлишкових напружень навколо отвору після дорнування: 1 – зона текучості матеріалу, 2 – Зона тангенціальних надлишкових напружень стиску, 3 – Максимальне значення надлишкових напружень стиску, 4 – зона надлишкових напружень розтягу [22]

Не зважаючи те, що технології дорнування широко поширені при виготовленні, складанні та ремонту літаків, звичайні методи дорнування мають ряд недоліків [28]. Процес дорнування без застосування втулки легко призводить до пошкодження поверхонь отвору та оправки а також таким способом важко забезпечити високу ступінь деформації матеріалу. Недоліками процесу

дорнування із застосуванням розрізної втулки є необхідність застосування додаткової операції розвертання, а також кожна розрізна втулка може використовуватись для обробки тільки одного отвору.

Це не тільки призводить до ускладнення технології але також до підвищення вартості виробництва. Для подальшого вдосконалення процесів дорнування розробляються нові процеси. Подвійне дорнування з використанням кульок може забезпечити відносно велику ступінь деформації, при цьому друге дорнування виконується в протилежному напрямку першого дорнування із використання кульки більшого діаметра [27].

В роботі [29] розроблено метод розрахунку оптимального радіального натягу та оптимальної форми оправки для одержання бажаної величини надлишкових напружень на поверхні отвору при дорнуванні із розрізною втулкою. Одним із небажаних ефектів при дорнуванні оправкою є усадка поверхні, що призводить до феномену фретінгової втоми поверхні.

З метою усунення усадки поверхні в роботі [30] представлено симетричний метод дорнування та відповідний інструмент (рис. 1.6), що забезпечує чисте радіальне розширення отвору із однорідним розподілом дотичних надлишкових напружень навколо отвору вздовж його осі з мінімальним і симетричним градієнтом відносно середньої площини.

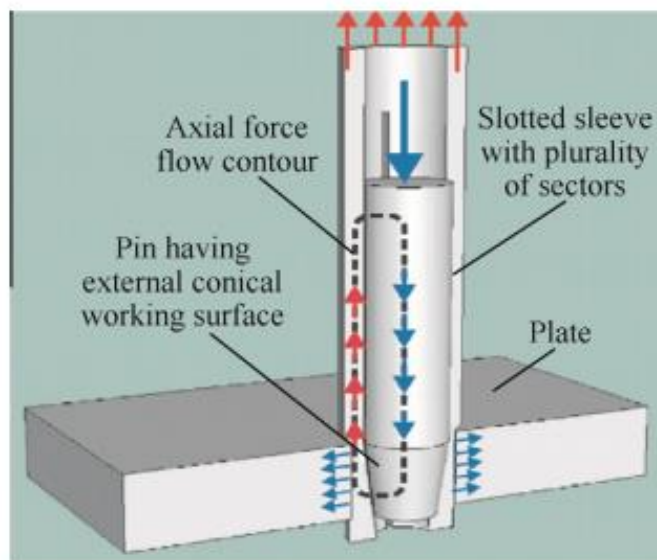


Рисунок 1.6 – Схема симетричного методу дорнування [30]

Також перевагою такого методу є його односторонність як при дорнуванні із розрізною втулкою або розрізною оправкою. Для збільшення втомної довговічності деталей машин після дорнування потрібно враховувати такі фактори як матеріал заготовки, геометричні розміри, навколишнє середовище застосування та інші.

На основі технології дорнування металевих отворів компанія Fatigue Technologies Incorporated розробила процес дорнування із металевою втулкою для отворів із композитних матеріалів, що використовуються у конструкціях літаків (рис. 1.7). Детальна інформація про цей процес є секретною. Для компаній із виробництва літаків технологія дорнування отворів у композитних матеріалах з метою підвищення їх втомної довговічності є нагальною потребою. Тому механізм зміцнення композитних матеріалів та вплив на це процесу дорнування потребує подальшого аналізу та пошуку при виконанні великої кількості експериментальних досліджень.

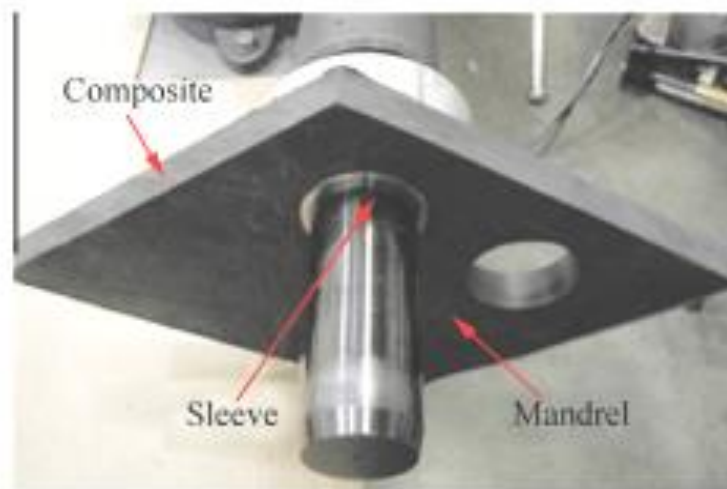


Рисунок 1.7 – Процес дорнування із металевою втулкою для отворів із композитних матеріалів [22]

При обробці конструкцій, що складаються із декількох різних шарів плит виникає необхідність у дорнуванні всіх отворів одночасно (рис. 1.8). Через різницю властивостей матеріалів плит потрібно використовувати різні натяги у складальних конструкціях. Традиційні методи дорнування що використовуються для однієї плити не можна безпосередньо використовувати

для багат шарових плит. Тому виникає необхідність у проведенні експериментальних досліджень та моделювань для багат шарових структур.

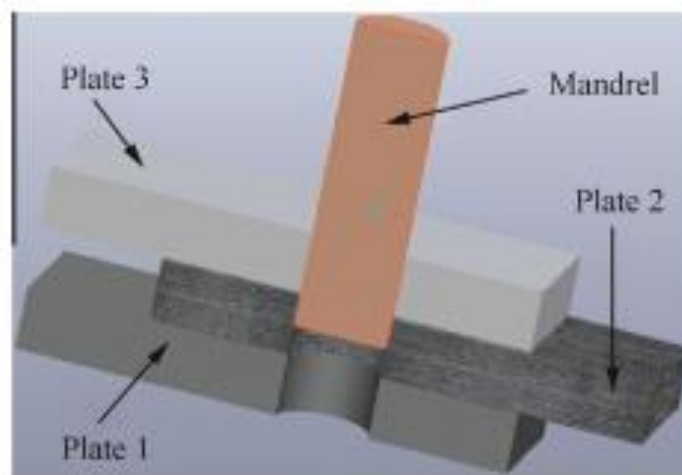


Рисунок 1.8 – Процес дорнування отворів у багат шарових структурах [22]

У роботі [31] представлено результати моделювання методом кінцевих елементів процесу дорнування із розрізною втулкою отворів у твердому сплаві Ti-6Al-4V. Для моделювання використана вісесиметрична модель, що дозволяє змінювати геометричні параметри процесу та степені деформування матеріалу. Модель процесу дорнування, створена за допомогою прикладного програмного забезпечення ABAQUS 6.12 представлена на рис. 1.9.

Для кожного етапу дорнування вибирались геометричні параметри, навантаження та граничні умови. Після процесу штовхання оправки через отвір відбувалось усуненням втулки із заготовки з наступним розвертанням отвору до номінального функціонального діаметра. Фінальний етап включав досягнення заготовкою стану рівноваги. Розподіл радіальних надлишкових напружень після обробки отвору представлено на рис. 1.10.

У роботі [32] представлено моделювання процесу дорнування методом кінцевих елементів з перевіркою адекватності моделі за допомогою експериментальних досліджень. На рисунку 1.11 представлено порівняння зусилля дорнування одержаного моделюванням методом кінцевих елементів та експериментальними методами.

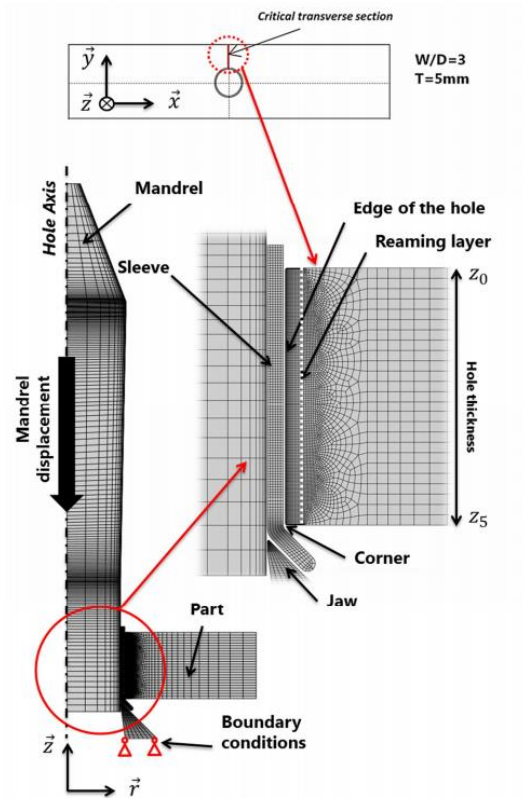


Рисунок 1.9 – Вісесиметрична модель дорнування із розрізною втулкою [31]

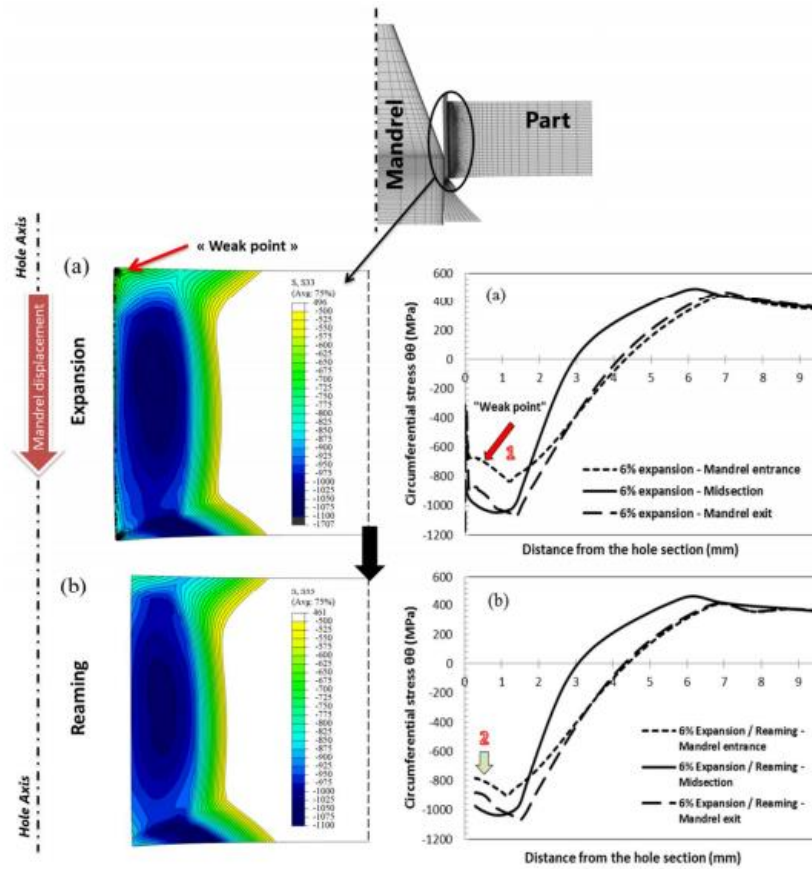


Рисунок 1.10 – Розподіл радіальних надлишкових напружень після обробки отвору дорнуванням з розрізною втулкою а) з наступним розвертанням б) [31]

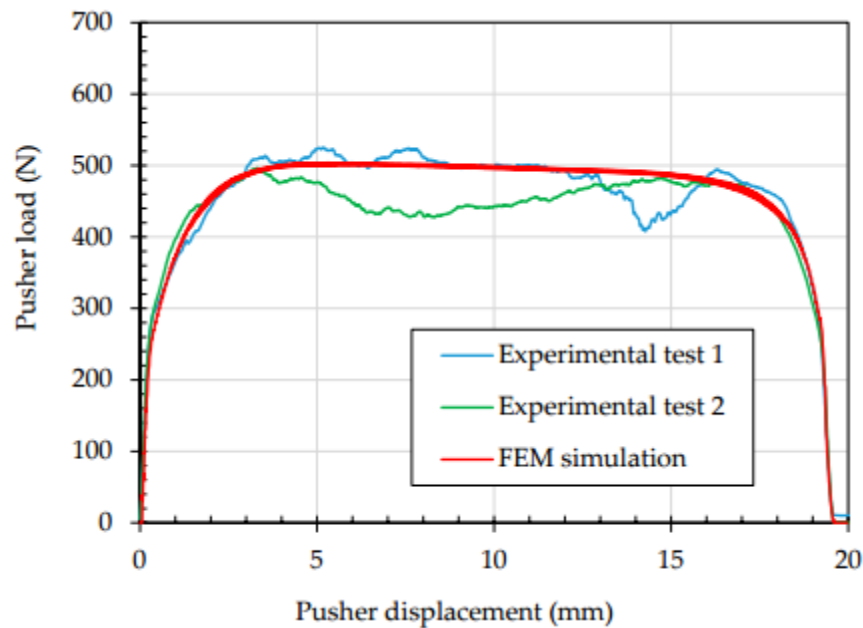


Рисунок 1.11 – Зусилля дорнування одержане моделюванням методом кінцевих елементів та експериментальними методами [32] залежно від переміщення оправки

1.2. Висновки та постановка завдань

В результаті аналізу інформаційних джерел встановлено, що в наслідок процесу дорнування на поверхні отвору виникають пружно-пластичні деформації та залишкові напруження стиску. Надлишкові напруження стиску можуть зменшити місця концентрації напружень та відтермінувати зародження та поширення втомних тріщин. Такий спосіб є високоефективним для запобігання передчасного втомного руйнування від циклічного навантаження. Обробка дорнуванням застосовується для критично важливих отворів високо навантажених конструктивних елементів, таких як шасі літаків і місця кріплення двигунів.

Із подальшими дослідженнями процесу дорнування здійснено багато вдосконалень процесу в авіаційній промисловості а також запропоновано нові методи дорнування та їх дослідження із проектуванням різноманітних інструментів. На практиці найширше використовуються чотири способи дорнування отворів: дорнування кромки отвору, безпосереднє дорнування

оправкою (без втулки), дорнування за допомогою кульки, дорнування із застосуванням розрізної втулки.

Не зважаючи те, що технології дорнування широко поширені при виготовленні, складанні та ремонту літаків, звичайні методи дорнування мають ряд недоліків. Процес дорнування без застосування втулки легко призводить до пошкодження поверхонь отвору та оправки а також таким способом важко забезпечити високу ступінь деформації матеріалу. Недоліками процесу дорнування із застосуванням розрізної втулки є необхідність застосування додаткової операції розвертання, а також кожна розрізна втулка може використовуватись для обробки тільки одного отвору. Це не тільки призводить до ускладнення технології але також до підвищення вартості виробництва. Тому подальше вдосконалення процесів дорнування із розробленням нових процесів є актуальним завданням.

У кваліфікаційній роботі вирішуються такі завдання:

1. Представити схему процесу дорнування профільного отвору.
2. Розробити різні варіанти виконання робочої частини інструменту з прямолінійними та радіусними елементами для дорнування профільного отвору.
3. Розробити розрахункову схему для визначення силових параметрів процесу дорнування профільного отвору.
4. Вивести рівняння для визначення зусилля дорнування профільного отвору інструментами із плоскими та радіусними робочими поверхнями.
5. Побудовано графіки залежності загального зусилля дорнування профільного отвору від геометричних параметрів процесу.
6. Вдосконалити відомий технологічний процес виготовлення фланця 753.174.087.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1. Дослідження силових параметрів процесу дорнування профільного отвору

Процес дорнування отворів широко використовується для зниження шорсткості обробленої поверхні отвору деталей машин, підвищення його твердості та створення у верхніх шарах надлишкових напружень стиску, що знижує ймовірність утворення тріщин на таких поверхнях та дозволяє підвищити втомну міцність деталей. Схема процесу дорнування профільного отвору представлена на рис. 2.1.

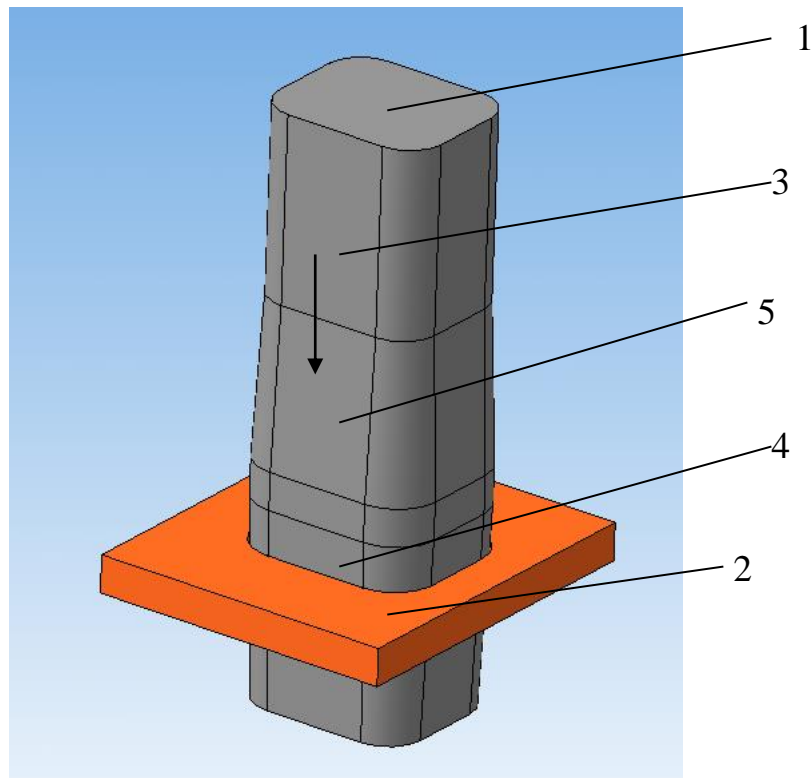


Рисунок 2.1 – Схема процесу дорнування профільного отвору

В процесі дорнування профільний інструмент 1 переміщується через профільний отвір заготовки 2. Інструмент 1 складається із трьох основних частин: хвостовика 3, яким інструмент закріплюється на гідравлічному пресі; робочої конусної частини 4, максимальні розміри якої більші за розміри отвору

на величину деформованого шару поверхні отвору, тобто на величину натягу δ_1 , що включає пластичні та пружні деформації; конусної хвостової частини 3 для зниження тертя між інструментом та поверхнею отвору.

При переміщенні інструменту 1 через профільний отвір заготовки 2 відбувається пластична деформація поверхневого шару отвору на величину δ , що призводить до формування на його поверхні надлишкових напружень стиску внаслідок виникнення явища наклепу та переміщення дислокацій у структурі металу.

В межах кваліфікаційної роботи розроблено різні варіанти виконання робочої частини інструменту для дорнування профільного отвору, що зображені на рисунках 2.2, 2.3, 2.4, 2.5.

На рисунку 2.2 зображено інструменту для дорнування профільного отвору з конусною робочою частиною та прямолінійною частиною калібрування без радіусних робочих поверхонь в осьовому напрямку. Деформація поверхні отвору виконується тільки площинами.

На рисунку 2.3 зображено інструменту для дорнування профільного отвору з радіусними спряженнями R_2 між конусною робочою частиною та прямолінійною частиною калібрування. Деформація поверхні отвору виконується спочатку площинами, а потім радіусними поверхнями.

На рисунку 2.4 зображено інструмент для дорнування профільного отвору з радіусними спряженнями R_3 між конусною робочою частиною та конусною частиною хвостовика. Радіусне спряження виконує функцію робочої та калібрувальної частин інструмента. Деформація поверхні отвору виконується спочатку площинами, а потім радіусними поверхнями.

На рисунку 2.5 зображено інструмент для дорнування профільного отвору з радіусною R_4 робочою та калібрувальною частиною. Деформація поверхні отвору виконується тільки радіусними поверхнями.

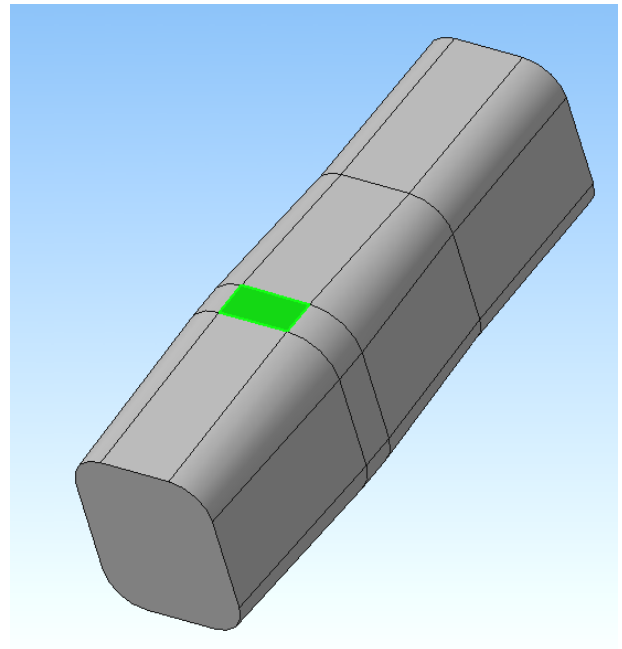
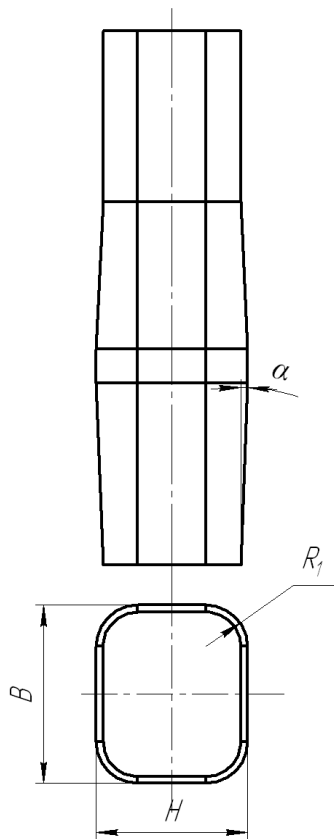


Рисунок 2.2 – Інструмент для дорнування профільного отвору з конусною робочою частиною та прямолінійною частиною калібрування

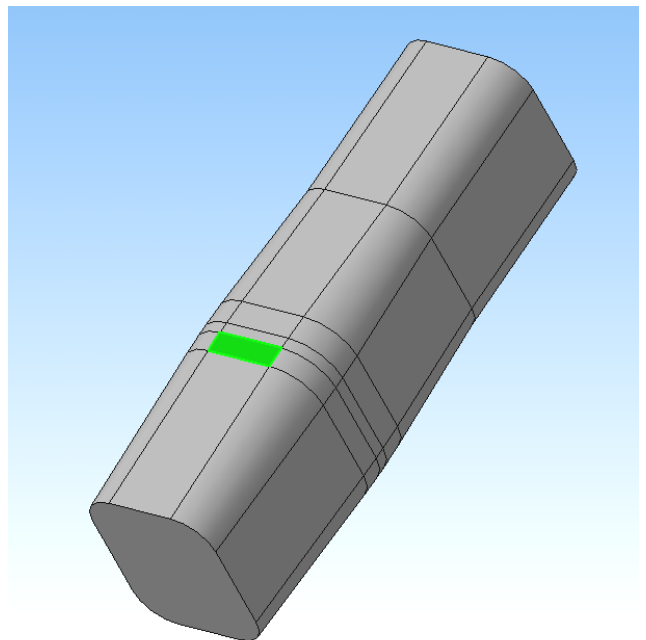
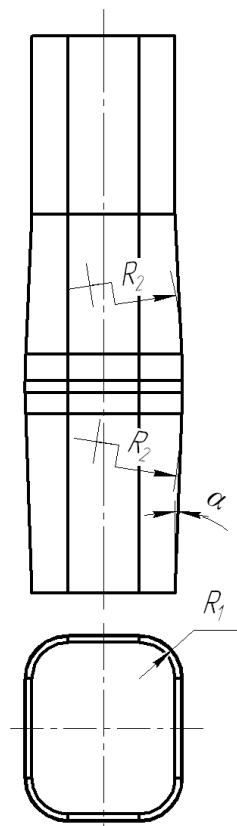


Рисунок 2.3 – Інструмент для дорнування профільного отвору з радіусними спряженнями між конусною робочою частиною та прямолінійною частиною калібрування

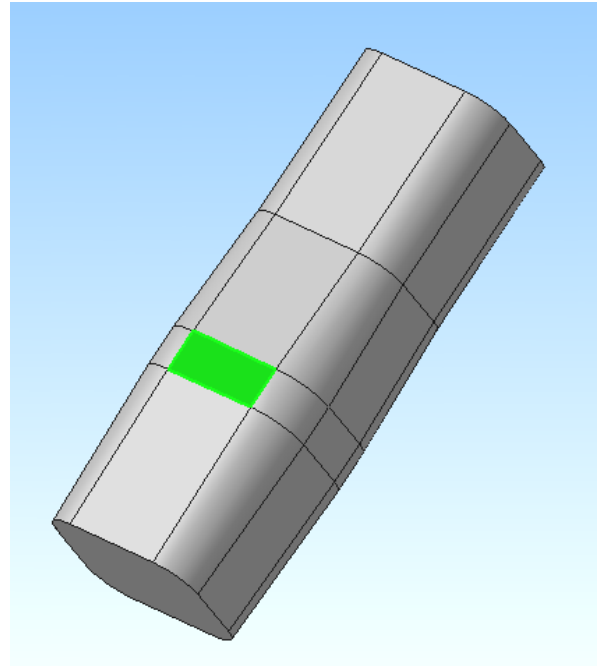
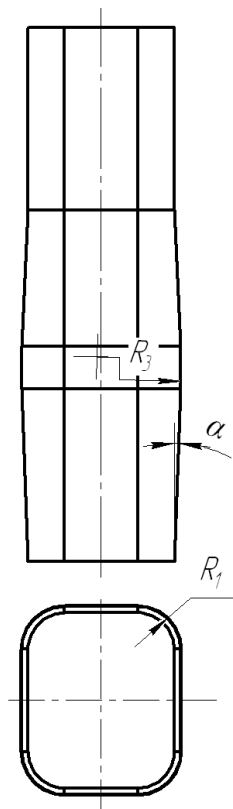


Рисунок 2.4 – Інструмент для дорнування профільного отвору з радіусними спряженнями між конусною робочою частиною та конусною частиною хвостовика

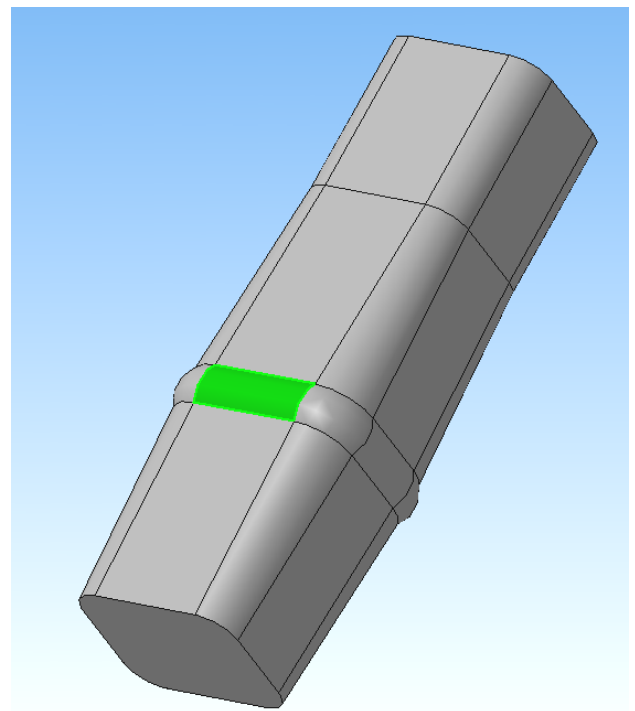
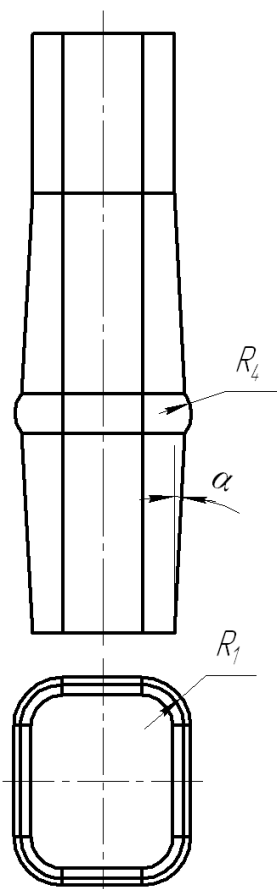


Рисунок 2.5 – Інструмент для дорнування профільного отвору з радіусною робочою та калібрувальною частиною

Для визначення силових параметрів процесу дорнування профільного отвору представлено розрахункову схему на рис. 2.6. Зусилля деформування поверхні профільного отвору визначається механічними властивостями матеріалу заготовки та величиною миттєвого об'єму, що піддається деформації.

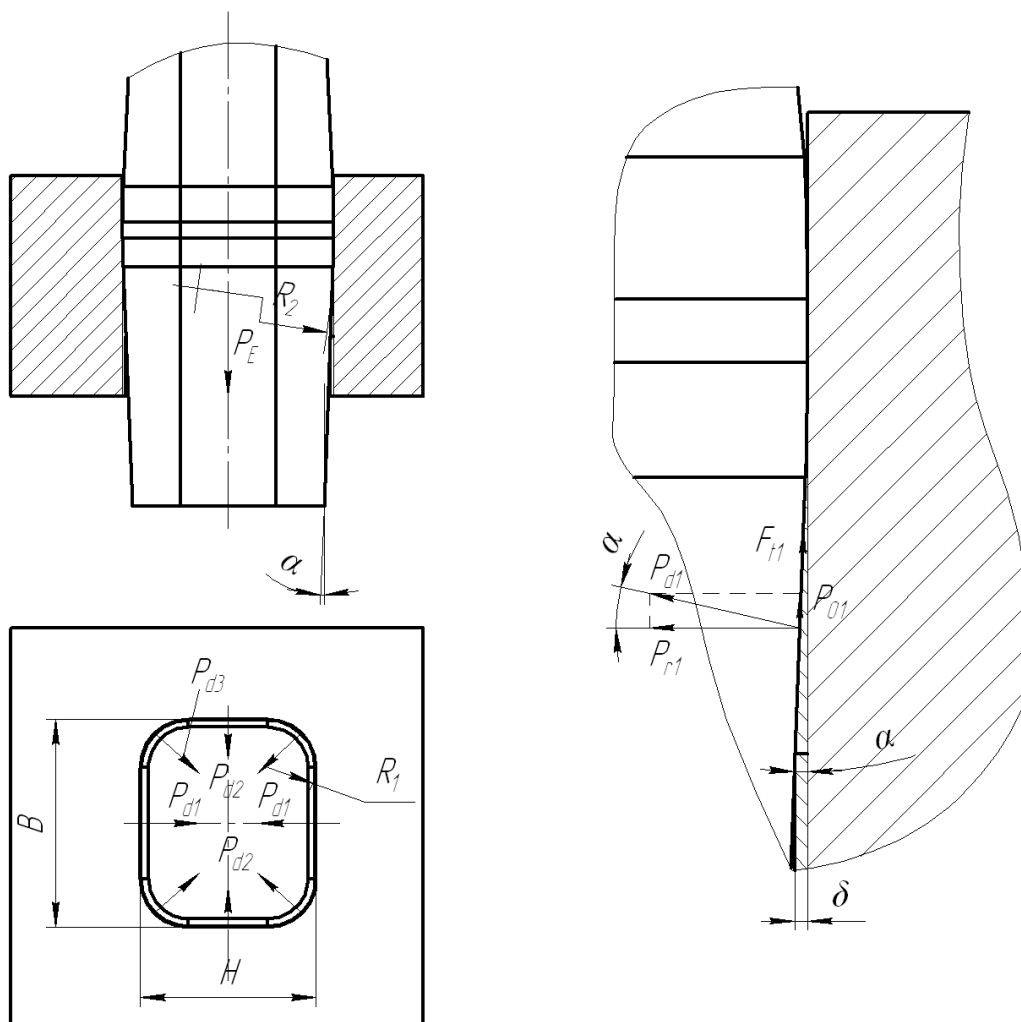


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема для визначення силових параметрів процесу дорнування профільного отвору

Розрахунок напружено-деформованого стану поверхні отвору, силових параметрів процесу із детальним врахуванням усіх змінних параметрів, зокрема коефіцієнтів тертя є складною задачею і виходить за межі інженерних розрахунків. Для компенсації похибок розрахунків потрібно використовувати коефіцієнти запасу. Для визначення силових параметрів процесу дорнування отвору використано спрощену схему із такими припущеннями: інструмент

піддається тільки пружним деформаціям, що є на порядок меншими за пластичну деформацію поверхні отвору; товщина δ деформованого шару поверхні отвору є однаковою та рівномірною по всьому периметру отвору; напруження текучості матеріалу є постійними в процесі деформування; коефіцієнт тертя μ між інструментом та поверхнею отвору є постійним; кут α нахилу робочої поверхні інструмента є однаковим по всьому периметру інструмента.

Загальне зусилля дорнування профільного отвору інструментом рис. 2.2 можна визначити за формулою:

$$P_E = 2P_{o1} + 2P_{o2} + 4P_{o3}, \quad (2.1)$$

де P_{o1} - осьова сила деформування поверхні отвору зі сторони шириною B ;

P_{o2} - осьова сила деформування поверхні отвору зі сторони шириною H ;

P_{o3} - осьова сила деформування радіусної поверхні R_1 спряження сторін шириною B та H .

Осьова сила деформування поверхні отвору зі сторони шириною B :

$$P_{o1} = P_{d1} \sin \alpha + F_{t1} \cos \alpha, \quad (2.2)$$

де P_{d1} - нормальна сила деформування поверхні отвору зі сторони шириною B ;

α - кут нахилу робочої поверхні інструмента;

F_{t1} - сила тертя між інструментом та поверхнею отвору зі сторони шириною B .

Сила тертя між інструментом та поверхнею отвору зі сторони шириною B :

$$F_{t1} = P_{d1} \cdot \mu, \quad (2.3)$$

де μ - коефіцієнт тертя між інструментом та поверхнею отвору.

Підставляючи рівняння (2.3) у рівняння (2.2), одержано:

$$P_{o1} = P_{d1} (\sin \alpha + \mu \cos \alpha). \quad (2.4)$$

Нормальна сила деформування поверхні отвору зі сторони шириною B :

$$P_{d1} = \sigma_s S_1, \quad (2.6)$$

де σ_s - границя текучості матеріалу заготовки;

S_1 - площа деформування поверхні заготовки зі сторони шириною B .

Площа деформування поверхні заготовки зі сторони шириною B :

$$S_1 = \frac{\delta}{\sin \alpha} (B - 2R_1), \quad (2.7)$$

де δ – товщина деформованого шару поверхні отвору.

Підставляючи рівняння (2.7), (2.6) у рівняння (2.2), після перетворень одержано:

$$P_{o1} = \sigma_s \delta (B - 2R_1) (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha). \quad (2.8)$$

Осьова сила деформування поверхні отвору зі сторони шириною H :

$$P_{o2} = P_{d2} \sin \alpha + F_{t2} \cos \alpha, \quad (2.9)$$

де P_{d2} - нормальна сила деформування поверхні отвору зі сторони шириною H ;

F_{t2} - сила тертя між інструментом та поверхнею отвору зі сторони шириною H .

Сила тертя між інструментом та поверхнею отвору зі сторони шириною H :

$$F_{t2} = P_{d2} \cdot \mu. \quad (2.10)$$

Підставляючи рівняння (2.10) у рівняння (2.9), одержано:

$$P_{o2} = P_{d2} (\sin \alpha + \mu \cos \alpha). \quad (2.11)$$

Нормальна сила деформування поверхні отвору зі сторони шириною H :

$$P_{d2} = \sigma_s S_2, \quad (2.12)$$

де S_2 - площа деформування поверхні заготовки зі сторони шириною H .

Площа деформування поверхні заготовки зі сторони шириною H :

$$S_2 = \frac{\delta}{\sin \alpha} (H - 2R_1). \quad (2.13)$$

Підставляючи рівняння (2.13), (2.12) у рівняння (2.11), після перетворень одержано:

$$P_{o2} = \sigma_s \delta (H - 2R_1) (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha). \quad (2.14)$$

Осьова сила деформування радіусної поверхні R_1 спряження сторін шириною B та H :

$$P_{o3} = P_{d3} \sin \alpha + F_{t3} \cos \alpha, \quad (2.15)$$

де P_{d3} - нормальна сила деформування радіусної поверхні R_1 спряження;

F_{t3} - сила тертя між інструментом та радіусної поверхні R_1 спряження.

Сила тертя між інструментом та радіусної поверхні R_1 спряження:

$$F_{t3} = P_{d3} \cdot \mu. \quad (2.16)$$

Підставляючи рівняння (2.16) у рівняння (2.15), одержано:

$$P_{o3} = P_{d3} (\sin \alpha + \mu \cos \alpha). \quad (2.17)$$

Нормальна сила деформування радіусної поверхні R_1 спряження:

$$P_{d3} = \sigma_s S_3, \quad (2.18)$$

де S_3 - площа деформування радіусної поверхні R_1 спряження.

Площа деформування радіусної поверхні R_1 спряження :

$$S_3 = \frac{\pi\delta}{4\sin\alpha}(2R_1 - \delta). \quad (2.19)$$

Підставляючи рівняння (2.13), (2.12) у рівняння (2.11), після перетворень одержано:

$$P_{o3} = \sigma_s \frac{\pi\delta}{4\sin\alpha}(2R_1 - \delta)(1 + \mu \operatorname{ctg}\alpha). \quad (2.20)$$

Тоді загальне зусилля дорнування профільного отвору:

$$P_E = 2\sigma_s\delta(1 + \mu \operatorname{ctg}\alpha) \left(B + H - R_1(4 - \pi) - \frac{\pi\delta}{2} \right). \quad (2.21)$$

На основі рівняння (2.21) побудовано графіки залежності загального зусилля дорнування профільного отвору інструментом рис. 2.2 від геометричних параметрів процесу (рис. 2.7, 2.8, 2.9, 2.10). На рисунку 2.7 представлено графік залежності загального зусилля дорнування профільного отвору від кута α нахилу робочої поверхні інструмента.

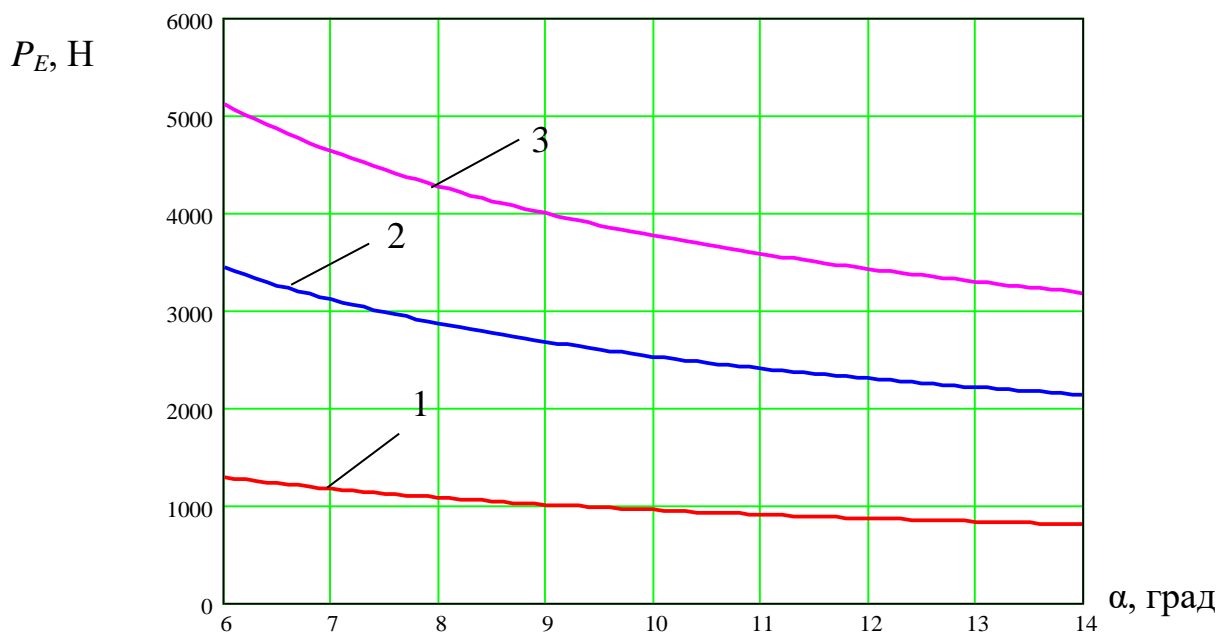


Рисунок 2.7 – Графік залежності загального зусилля дорнування профільного отвору у заготовці із алюмінієвого сплаву Д16Т від кута α нахилу робочої поверхні інструмента $B=14\text{мм}$, $H=14\text{мм}$, $R_1=4\text{мм}$:

1) $\delta=0,02\text{мм}$; 2) $\delta=0,05\text{мм}$; 3) $\delta=0,08\text{мм}$

На рисунках 2.8 та 2.9 представлено графіки залежності загального зусилля дорнування профільного отвору від товщини δ деформованого шару поверхні отвору та ширини сторони H відповідно.

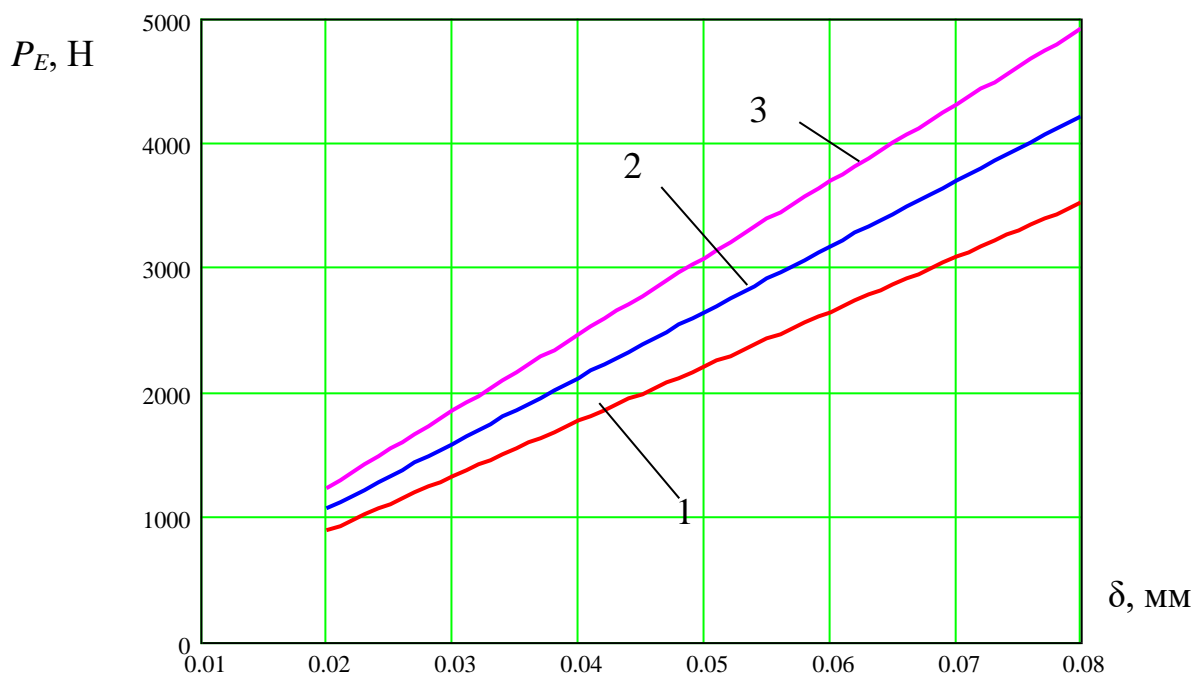


Рисунок 2.8 – Графік залежності загального зусилля дорнування профільного отвору у заготовці із алюмінієвого сплаву Д16Т від товщини δ деформованого шару поверхні отвору $B=14$ мм, $\alpha=8$ град, $R_1=2$ мм:
1) $H=8$ мм; 2) $H=12$ мм; 3) $H=16$ мм

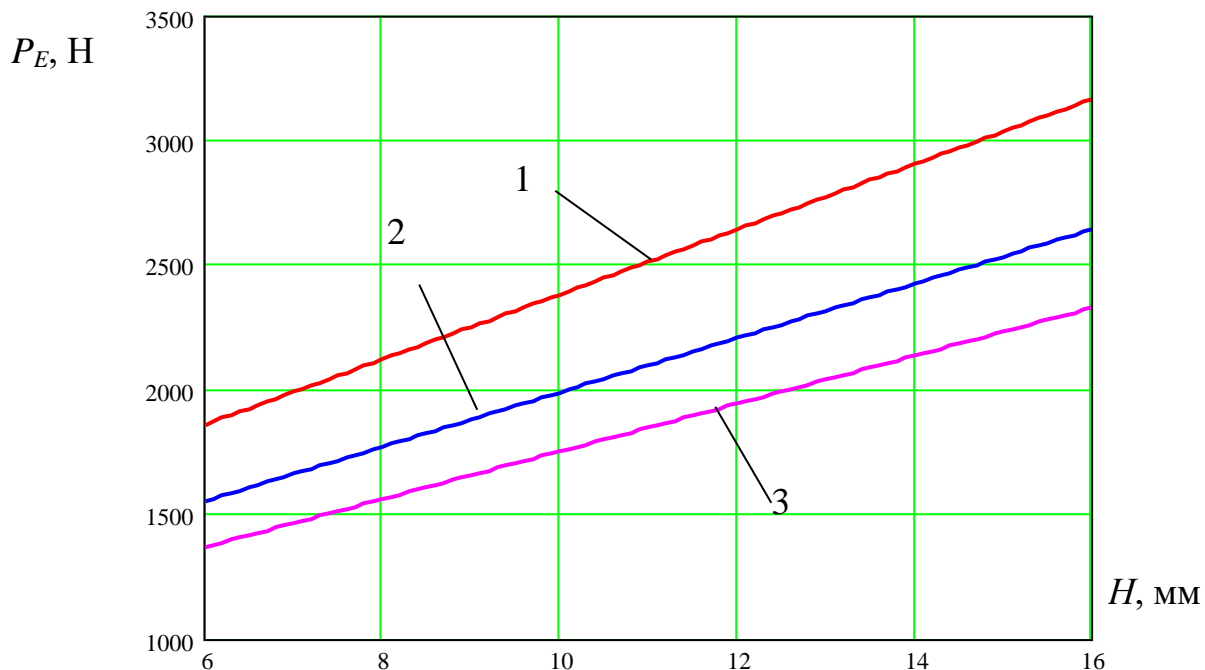
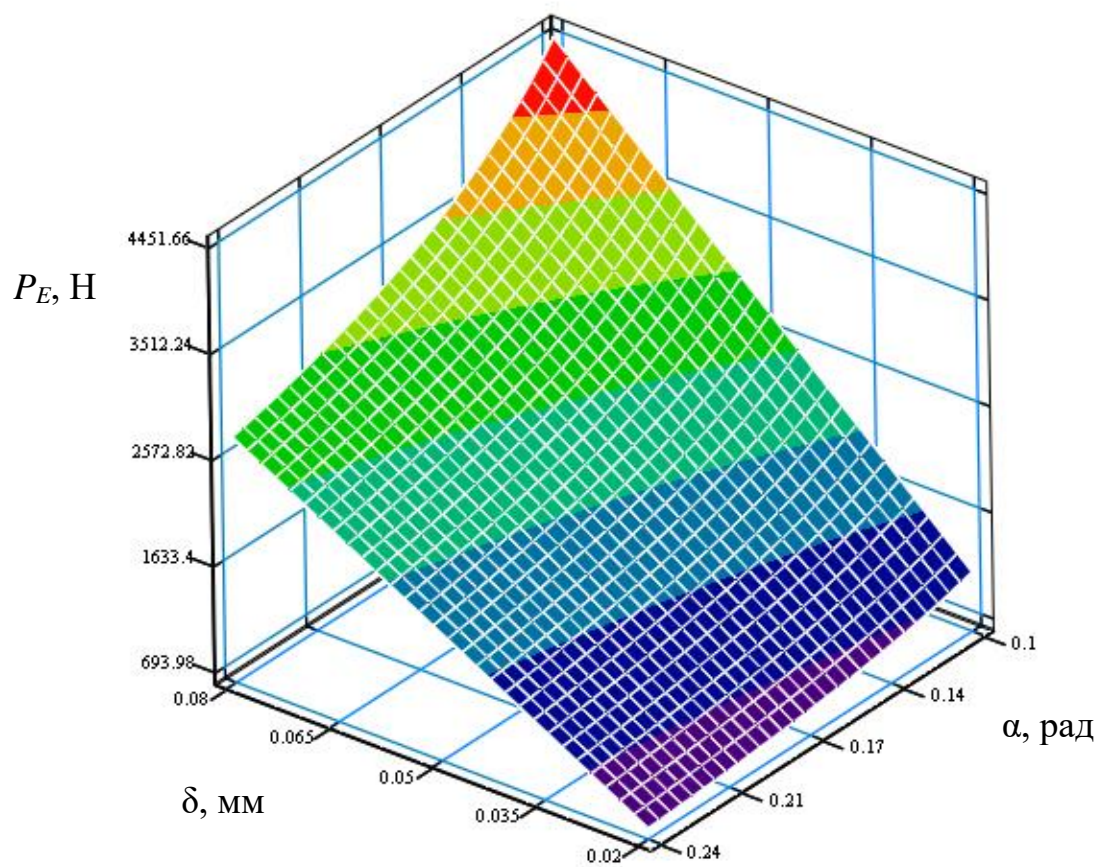
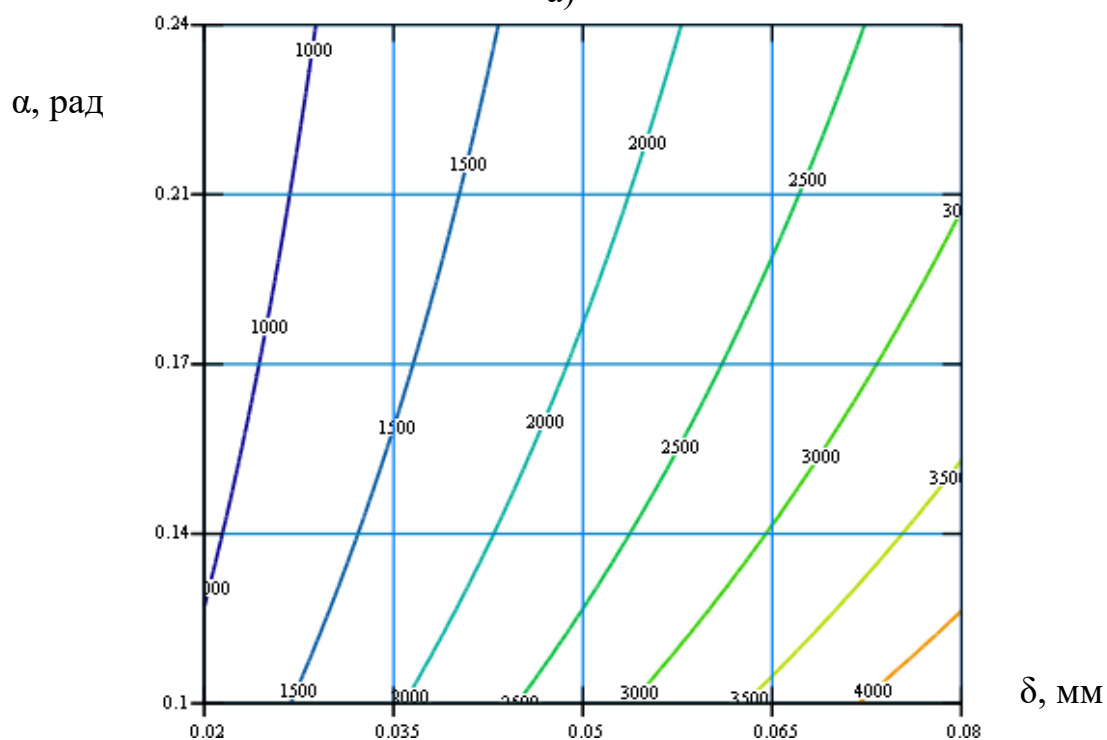


Рисунок 2.9 – Графік залежності загального зусилля дорнування профільного отвору у заготовці із алюмінієвого сплаву Д16Т від ширини сторони H $B=14$ мм, $\delta=0,05$ мм, $R_1=2$ мм: 1) $\alpha=6$ град; 2) $\alpha=8$ град; 3) $\alpha=10$ град



а)



б)

Рисунок 2.10 – Трьохмірний графік (а) та двомірний переріз графіка (б) (номограма) загального зусилля дорнування профільного отвору у заготовці із алюмінієвого сплаву Д16Т від кута α нахилу робочої поверхні інструмента та товщини δ деформованого шару поверхні отвору ($B=12\text{мм}$, $H=12\text{мм}$)

На основі рівняння (2.21) та графіків на рис. 2.7 – 2.10 встановлено, що при збільшенні товщини δ деформованого шару поверхні отвору, ширини сторони H загальне зусилля дорнування профільного отвору у заготовці із алюмінієвого сплаву Д16Т при використанні інструменту рис. 2.2 зростає, а при збільшенні кута α нахилу робочої поверхні інструмента – спадає.

Збільшення кута α нахилу робочої поверхні інструмента від 6 град до 14 град призводить до зменшення загального зусилля дорнування профільного отвору на 35%. Таку залежність можна пояснити тим, що при збільшенні кута α нахилу робочої поверхні інструмента зменшується площа контакту між робочою частиною інструмента та поверхнею отвору. Збільшення товщини δ деформованого шару поверхні отвору від 0,02 мм до 0,08 мм призводить до збільшення загального зусилля дорнування профільного отвору в 4 рази, а збільшення ширини сторони H від 6 мм до 16 мм призводить до збільшення загального зусилля дорнування профільного отвору на 41%.

Загальне зусилля дорнування профільного отвору інструментом рис. 2.5 із радіусною робочою поверхнею:

$$P_{Er} = 2P_{o1r} + 2P_{o2r} + 4P_{o3r}, \quad (2.22)$$

де P_{o1r} - осьова сила деформування поверхні отвору зі сторони шириною B радіусною поверхнею;

P_{o2r} - осьова сила деформування поверхні отвору зі сторони шириною H радіусною поверхнею;

P_{o3r} - осьова сила деформування поверхні R_1 спряження сторін шириною B та H радіусною поверхнею.

Осьова сила деформування поверхні отвору зі сторони шириною B радіусною поверхнею:

$$P_{o1r} = P_{d1r} \sin \frac{\beta}{2} + F_{t1r} \cos \frac{\beta}{2}, \quad (2.23)$$

де P_{dlr} - нормальна сила деформування поверхні отвору зі сторони шириною B радіусною поверхнею;

β - кут контакту між радіусною поверхнею інструмента та поверхнею заготовки;

F_{t1r} - сила тертя між радіусною поверхнею інструмента та поверхнею отвору зі сторони шириною B .

Сила тертя між інструментом та поверхнею отвору зі сторони шириною B :

$$F_{t1r} = P_{dlr} \cdot \mu. \quad (2.24)$$

Нормальна сила деформування поверхні отвору зі сторони шириною B радіусною поверхнею:

$$P_{dlr} = \sigma_s S_{1r}, \quad (2.25)$$

де S_{1r} - площа контакту між радіусною поверхнею інструмента та поверхнею заготовки зі сторони шириною B .

Площа контакту між радіусною поверхнею інструмента та поверхнею заготовки зі сторони шириною B :

$$S_{1r} = R_4 \beta (B - 2R_1), \quad (2.26)$$

де R_4 – радіус робочої поверхні інструмента.

Кут контакту між радіусною поверхнею інструмента та поверхнею заготовки:

$$\beta = \arccos \left(1 - \frac{\delta}{R_4} \right). \quad (2.27)$$

Отже,

$$P_{or} = \sigma_s R_4 \arccos\left(1 - \frac{\delta}{R_4}\right) (B - 2R_1) \left(\sin \frac{\beta}{2} + \mu \cos \frac{\beta}{2}\right). \quad (2.28)$$

Проводимо аналогічні розрахунки для сторони шириною H :

$$P_{or} = \sigma_s R_4 \arccos\left(1 - \frac{\delta}{R_4}\right) (H - 2R_1) \left(\sin \frac{\beta}{2} + \mu \cos \frac{\beta}{2}\right). \quad (2.29)$$

Для поверхні R_1 спряження сторін шириною B та H :

$$P_{or} = \sigma_s \frac{\pi}{2} R_1 R_4 \arccos\left(1 - \frac{\delta}{R_4}\right) \left(\sin \frac{\beta}{2} + \mu \cos \frac{\beta}{2}\right). \quad (2.30)$$

Тоді загальне зусилля дорнування профільного отвору радіусною поверхнею:

$$P_{Er} = 2\sigma_s R_4 \arccos\left(1 - \frac{\delta}{R_4}\right) \left(\sin \frac{\beta}{2} + \mu \cos \frac{\beta}{2}\right) (B + H - R_1(4 - \pi)). \quad (2.31)$$

На основі рівняння (2.31) побудовано графіки залежності загального зусилля дорнування профільного отвору інструментом рис. 2.5 із радіусною робочою поверхнею від геометричних параметрів процесу (рис. 2.11, 2.12, 2.13, 2.14). На рисунку 2.11 представлено графік залежності загального зусилля дорнування профільного отвору від радіуса R_4 робочої поверхні інструмента.

На рисунках 2.12 та 2.13 представлено графіки залежності загального зусилля дорнування профільного отвору від товщини δ деформованого шару поверхні отвору та ширини сторони H відповідно.

На рисунках 2.14 та 2.15 представлено трьохмірний графік та його переріз загального зусилля дорнування профільного отвору у заготовці із алюмінієвого сплаву Д16Т від радіуса R_4 робочої поверхні інструмента та товщини δ деформованого шару поверхні отвору ($B=12\text{мм}$, $H=12\text{мм}$).

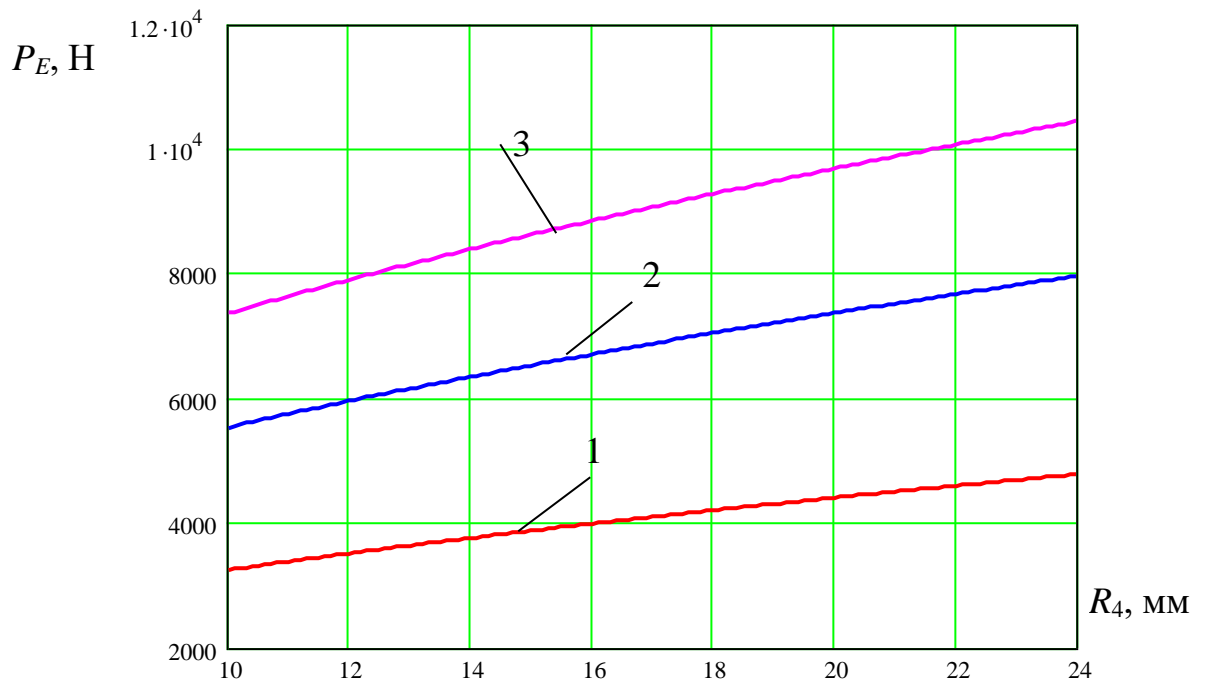


Рисунок 2.11 – Графік залежності загального зусилля дорнування профільного отвору у заготовці із алюмінієвого сплаву Д16Т від радіуса R_4 робочої поверхні інструмента $B=14$ мм, $H=14$ мм, $R_1=4$ мм: 1) $\delta=0,02$ мм; 2) $\delta=0,05$ мм; 3) $\delta=0,08$ мм

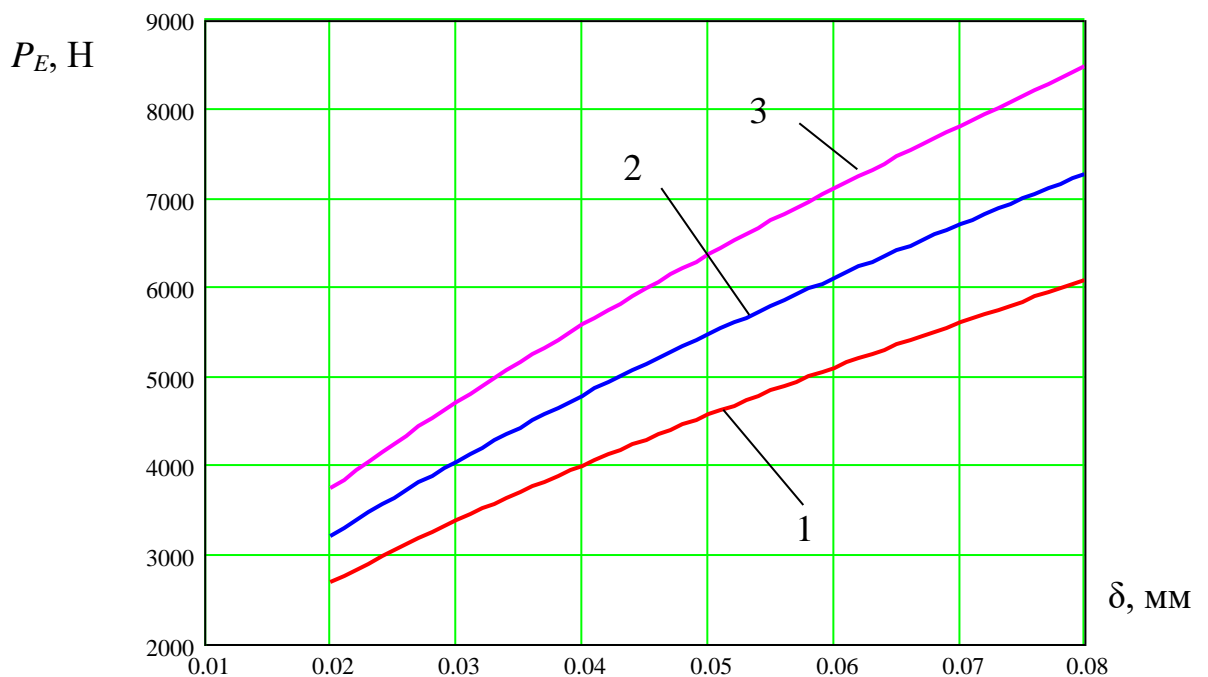


Рисунок 2.12 – Графік залежності загального зусилля дорнування профільного отвору у заготовці із алюмінієвого сплаву Д16Т від товщини δ деформованого шару поверхні отвору $B=14$ мм, $R_4=10$ мм, $R_1=2$ мм:

1) $H=8$ мм; 2) $H=12$ мм; 3) $H=16$ мм

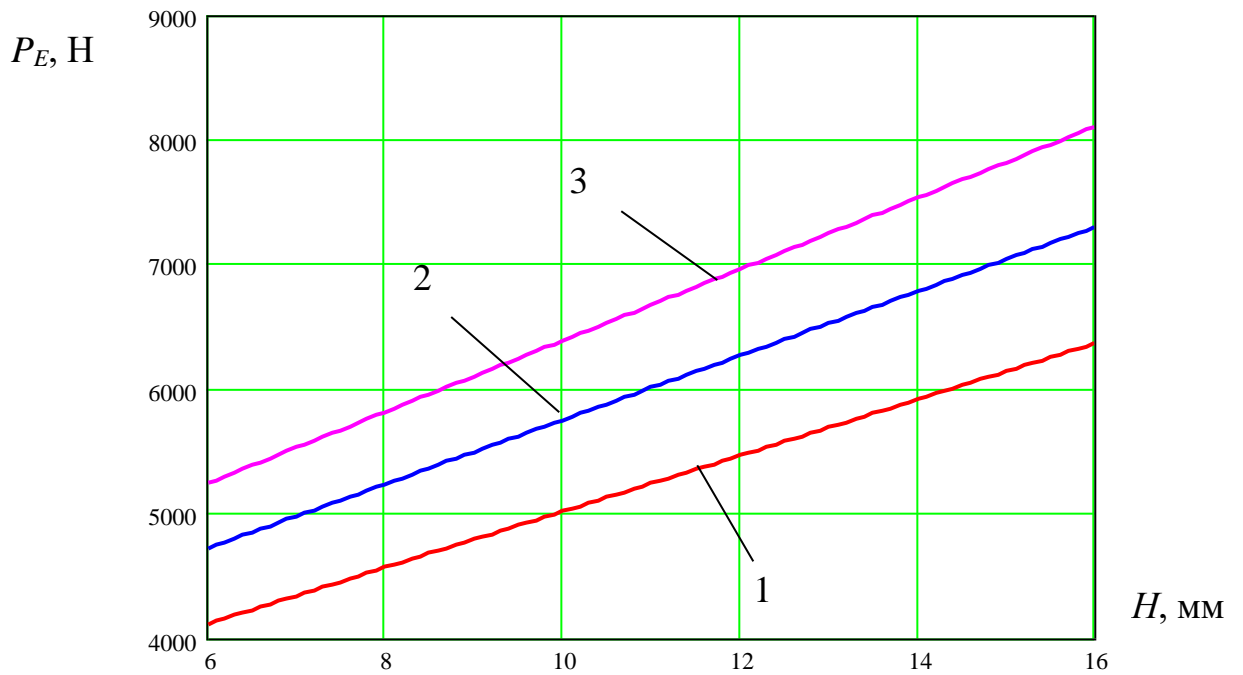


Рисунок 2.13 – Графік залежності загального зусилля дорнування профільного отвору у заготовці із алюмінієвого сплаву Д16Т від ширини сторони $H B=14\text{мм}$, $\delta=0,05\text{мм}$, $R_1=2\text{ мм}$: 1) $R_4=10\text{ мм}$; 2) $R_4=14\text{ мм}$; 3) $R_4=18\text{ мм}$

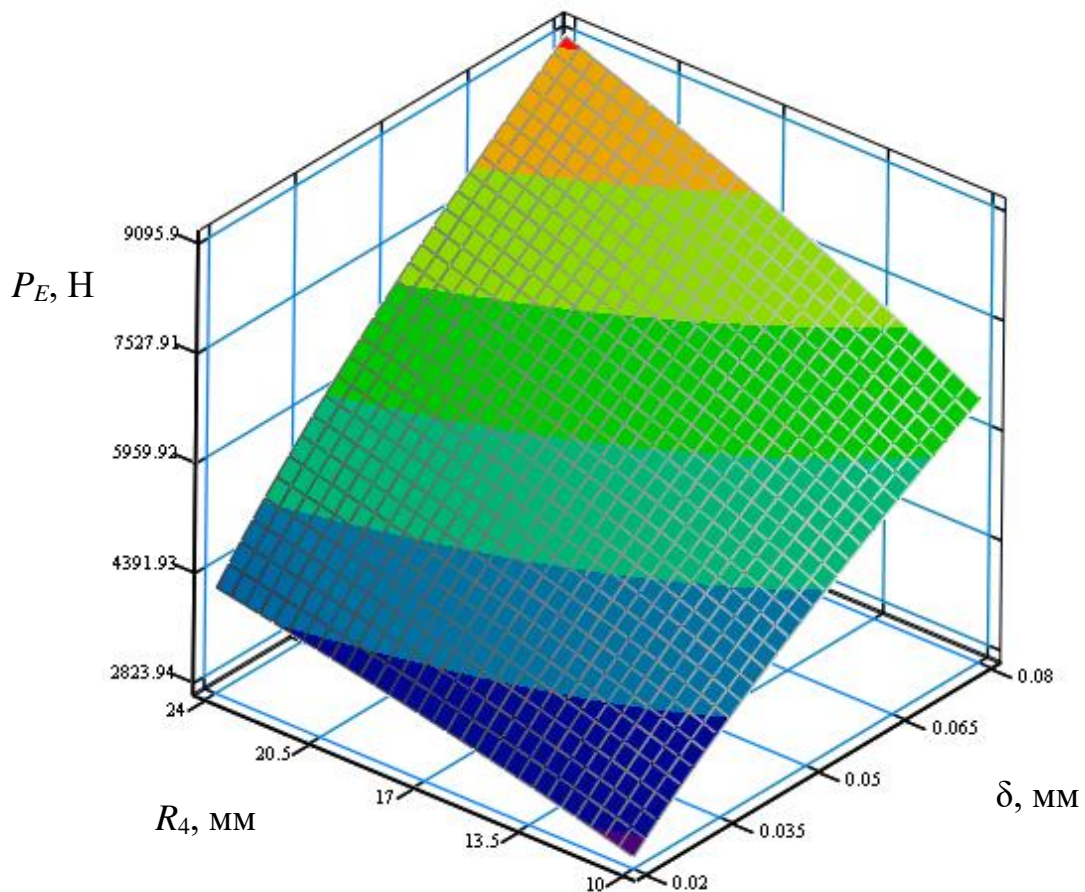


Рисунок 2.14 – Трьохмірний графік загального зусилля дорнування профільного отвору у заготовці із алюмінієвого сплаву Д16Т від радіуса R_4 робочої поверхні інструмента та товщини δ деформованого шару поверхні отвору ($B=12\text{мм}$, $H=12\text{мм}$)

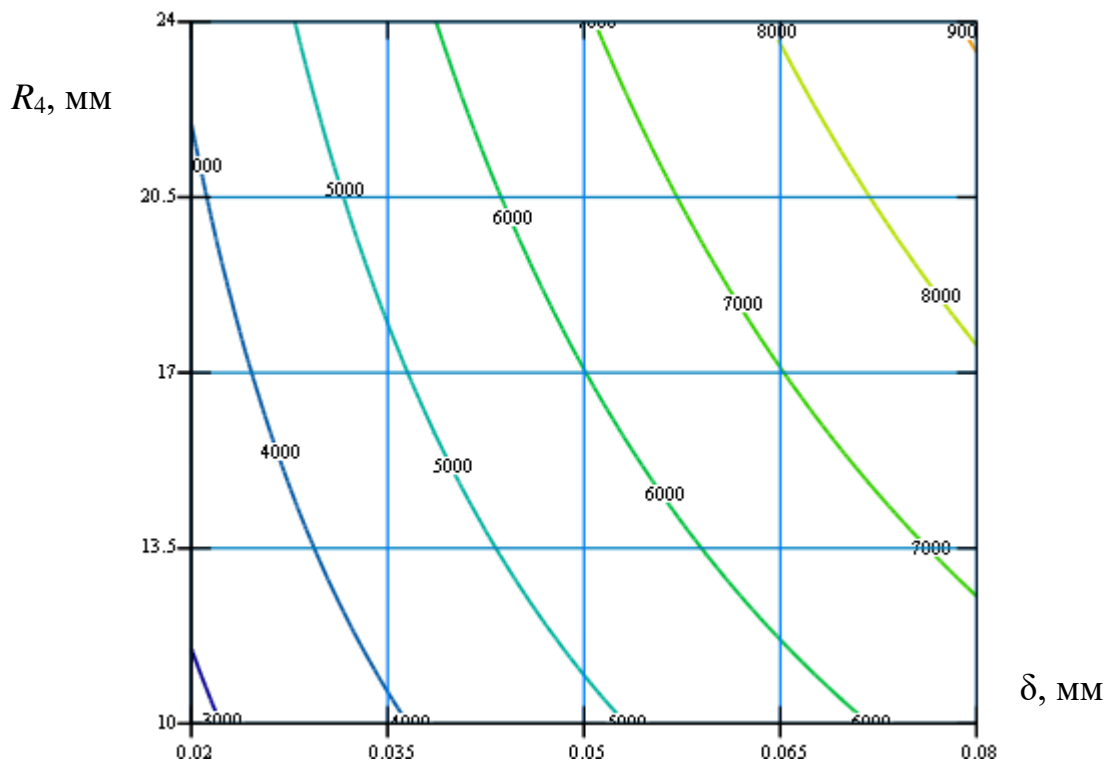


Рисунок 2.15 – Номограма загального зусилля дорнування профільного отвору у заготовці із алюмінієвого сплаву Д16Т від радіуса R_4 робочої поверхні інструмента та товщини δ деформованого шару поверхні отвору ($B=12$ мм, $H=12$ мм)

На основі рівняння (2.31) та графіків на рис. 2.11 – 2.15 встановлено, що при збільшенні радіуса R_4 робочої поверхні інструмента, товщини δ деформованого шару поверхні отвору, ширини сторони H загальне зусилля дорнування профільного отвору у заготовці із алюмінієвого сплаву Д16Т при використанні інструменту рис. 2.5 із радіусною робочою поверхнею зростає.

Збільшення радіуса R_4 робочої поверхні інструмента від 10 мм до 24 мм призводить до зростання загального зусилля дорнування профільного отвору на 31%. Таку залежність можна пояснити тим, що при збільшенні радіуса R_4 робочої поверхні інструмента збільшується площа контакту між робочою частиною інструмента та поверхнею отвору. Збільшення товщини δ деформованого шару поверхні отвору від 0,02 мм до 0,08 мм призводить до збільшення загального зусилля дорнування профільного отвору в 2,27 рази, а

збільшення ширини сторони H від 6 мм до 16 мм призводить до збільшення загального зусилля дорнування профільного отвору в 1,54 рази.

Зусилля дорнування профільного отвору при застосуванні інструменту рис. 2.2 із плоскими робочими поверхнями від 1,7 до 2,04 разів менше ніж при дорнуванні інструментом рис. 2.5 із радіусними поверхнями.

2.2. Висновки

У розділі представлено схему процесу дорнування профільного отвору. Розроблено чотири варіанти виконання робочої частини інструменту з прямолінійними та радіусними елементами для дорнування профільного отвору. Розроблено розрахункову схему для визначення силових параметрів процесу дорнування профільного отвору. Виведено рівняння для визначення зусилля дорнування профільного отвору інструментами із плоскими та радіусними робочими поверхнями. Побудовано графіки залежності загального зусилля дорнування профільного отвору від геометричних параметрів процесу.

Для інструмента із плоскою робочою поверхнею встановлено, що при збільшенні товщини δ деформованого шару поверхні отвору, ширини сторони H загальне зусилля дорнування профільного отвору у заготовці із алюмінієвого сплаву Д16Т зростає, а при збільшенні кута α нахилу робочої поверхні інструмента – спадає.

Збільшення кута α нахилу робочої поверхні інструмента від 6 град до 14 град призводить до зменшення загального зусилля дорнування профільного отвору на 35%. Таку залежність можна пояснити тим, що при збільшенні кута α нахилу робочої поверхні інструмента зменшується площа контакту між робочою частиною інструмента та поверхнею отвору. Збільшення товщини δ деформованого шару поверхні отвору від 0,02 мм до 0,08 мм призводить до збільшення загального зусилля дорнування профільного отвору в 4 рази, а

збільшення ширини сторони H від 6 мм до 16 мм призводить до збільшення загального зусилля дорнування профільного отвору на 41%.

Для інструмента із радіусною робочою поверхнею встановлено, що при збільшенні радіуса R_4 робочої поверхні інструмента, товщини δ деформованого шару поверхні отвору, ширини сторони H загальне зусилля дорнування профільного отвору у заготовці із алюмінієвого сплаву Д16Т зростає.

Збільшення радіуса R_4 робочої поверхні інструмента від 10 мм до 24 мм призводить до зростання загального зусилля дорнування профільного отвору на 31%. Таку залежність можна пояснити тим, що при збільшенні радіуса R_4 робочої поверхні інструмента збільшується площа контакту між робочою частиною інструмента та поверхнею отвору. Збільшення товщини δ деформованого шару поверхні отвору від 0,02 мм до 0,08 мм призводить до збільшення загального зусилля дорнування профільного отвору в 2,27 рази, а збільшення ширини сторони H від 6 мм до 16 мм призводить до збільшення загального зусилля дорнування профільного отвору в 1,54 рази.

Зусилля дорнування профільного отвору при застосуванні інструменту із плоскими робочими поверхнями від 1,7 до 2,04 разів менше ніж при дорнуванні інструментом із радіусними поверхнями.

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Службове призначення деталі

Деталь “Фланець” 753.174.087 входить до складу світлодіодного світильника.

Основними поверхнями деталі є: внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 18H7^{(+0,018)}$; Ra1,6, через яку проходить електричний кабель до світильника; зовнішня різьова поверхня M30×1,5-8g; Ra6,3 призначена для загвинчування в корпус світильника; торцева поверхня 61h14_(-0,74); Ra6,3; Ra12,5 призначена для точного позиціонування фланця і корпусу; паз 18H14^(+0,43); 18±0,2; 21±0,2; Ra6,3 призначений для встановлення притискача кабелю (для запобігання ковзання); внутрішні фаски $\varnothing 32H14^{(+0,62)}$; 45°±1°; 3×45°; Ra12,5 – для запобігання пошкодження (перетирання, згину) кабелю; два різьові отвори M6-7H; 42±0,1; 21±0,3; Ra6,3 – для кріплення притискача кабелю до фланця..

Аналіз технічних вимог представлено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Аналіз технічних вимог

Номер поверхні	Назва поверхні	Квалітет	Шорсткість
1	2	3	4
1	Торцева поверхня 61h14 _(-0,74)	14	Ra6,3
2	Внутрішня фаска $\varnothing 32H14^{(+0,62)}$; 45°±1°	14	Ra12,5
3, 18	Паз 18H14 ^(+0,43) ; 18±0,2; 21±0,2	14	Ra6,3
4	Шестигранна зовнішня поверхня 36±0,45	не підлягає обробці різанням	Rz50
5	Зовнішня канавка b=3,5H14 ^(+0,3) ; $\varnothing 27,8h14_{(-0,52)}$; 45°±1°	14	Ra12,5
6	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 29,85_{-0,26}$; l=14 під різь M30×1,5-8g	13	Ra6,3

Закінчення таблиці 3.1

1	2	3	4
7	Зовнішня різьба поверхня М30×1,5-8g; l=16	13	Ra6,3
8, 19	Зовнішня фаска 1×45°	14	Ra12,5
9	Торцева поверхня 61h14 _(-0,74)	14	Ra12,5
10	Внутрішня фаска 3×45°	14	Ra12,5
11	Внутрішня циліндрична поверхня Ø18H7 ^(+0,018)	7	Ra1,6
12, 13	Два наскрізні отвори Ø4,95 ^{+0,26} ; l=7 під різь М6-7H	13	Ra6,3
14, 15	Внутрішня фаска 1,5×45°	14	Ra12,5
16, 17	Два наскрізні різьбові отвори М6-7H; l=7	13	Ra6,3

3.2. Вибір способу одержання заготовки

Для виготовлення заготовки деталі “Фланець” 753.174.087 розглянуто два альтернативних варіанти із врахуванням того, що матеріал деталі алюмінієвий сплав АК12 з хорошими ливарними властивостями і погано піддається обробці тиском:

1. Лиття у піщані форми;
2. Лиття під тиском.

Маси заготовок фланця 753.174.087 визначаємо за формулою:

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

$q = 0,08$ кг – маса деталі;

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

Результати вибору припусків представлено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Припуски фланця 753.174.087

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				
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 18H7^{(+0,018)}$	Ra1,6	3,2	$5,5 \times 2 = 11,0$	$\varnothing 7 \pm 1,6$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 29,85_{-0,26}$ під різь М30×1,5-8g	Ra6,3	3,6	$4,2 \times 2 = 8,4$	$\varnothing 38,25 \pm 1,8$
Торцева поверхня 61h14 $_{(-0,74)}$	Ra12,5; Ra6,3	4,0	$4,2 \times 2 = 8,4$	$69,4 \pm 2,0$
Торцева поверхня 20h14 $_{(-0,52)}$	Ra12,5	3,2	4,2	$15,8 \pm 1,6$ ($20 \pm 1,6$ на кресленні)
Паз 18H14 $^{(+0,43)}$; $21 \pm 0,2$	Ra6,3	3,2	$4,2 \times 2 = 8,4$	$9,6 \pm 1,6$
Нижня частина паза $18 \pm 0,2$	Ra6,3	3,2	4,2	$13,8 \pm 1,6$
2) лиття під тиском				
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 18H7^{(+0,018)}$	Ra1,6	0,8	$1,4 \times 2 = 2,8$	$\varnothing 15,2 \pm 0,4$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 29,85_{-0,26}$ під різь М30×1,5-8g	Ra6,3	0,9	$1,1 \times 2 = 2,2$	$\varnothing 32,05 \pm 0,45$
Торцева поверхня 61h14 $_{(-0,74)}$	Ra12,5; Ra6,3	1,0	$1,1 \times 2 = 2,2$	$63,2 \pm 0,5$
Торцева поверхня 20h14 $_{(-0,52)}$	Ra12,5	0,8	1,0	$19 \pm 0,4$ ($20,1 \pm 0,4$ на кресленні)
Паз 18H14 $^{(+0,43)}$; $21 \pm 0,2$	Ra6,3	0,8	$1,0 \times 2 = 2,0$	$16 \pm 0,4$
Нижня частина паза $18 \pm 0,2$	Ra6,3	0,8	1,0	$17 \pm 0,4$

Ескізи двох альтернативних варіантів заготовок зображено на рис. 3.1 та рис. 3.2. Визначаємо об'єми припусків:

- лиття у піщані форми

$$V_{\text{пр1}} = \frac{\pi \cdot (38,25^2 - 7^2) \cdot 4,2}{4} = 1094,22 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр2}} = \frac{\pi \cdot (38,25^2 - 29,85^2) \cdot 20}{4} = 8981,03 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр3}} = \frac{\pi \cdot (37^2 - 15^2) \cdot 4,2}{4} = 3771,77 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр4}} = \frac{\pi \cdot (18^2 - 7^2) \cdot 61}{4} = 13168,38 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр7}} = \frac{\pi \cdot 6^2 \cdot 7}{4} \cdot 2 = 395,64 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр8}} = \frac{\pi \cdot (27,72^2 - 7^2) \cdot 4,2}{8} = 1186 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр9}} = 3 \cdot 36^2 \cdot \text{tg}30^\circ \cdot 4,2 = 9427,9 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр10}} = 9,6 \cdot 17,5 \cdot 4,2 \cdot 2 = 1411,2 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр11}} = \frac{\pi \cdot 16^2 \cdot 4,2}{8} \cdot 2 = 844,03 \text{ мм}^3.$$

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

$$V_{\text{пр}} = 1094,22 + 8981,03 + 3771,77 + 13168,38 + 395,64 + 1186 + 9427,9 + 1411,2 + 844,03 = 40280,17 \text{ мм}^3 = 40,28 \text{ см}^3.$$

- ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ:

$$V_{\text{пр1}} = \frac{\pi \cdot (32,05^2 - 15,2^2) \cdot 1,1}{4} = 687,5 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр2}} = \frac{\pi \cdot (32,05^2 - 29,85^2) \cdot 20}{4} = 2138,03 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр3}} = \frac{\pi \cdot (37^2 - 26,07^2) \cdot 1,1}{4} = 595,26 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр4}} = \frac{\pi \cdot (18^2 - 15,2^2) \cdot 61}{4} = 4451,4 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр7}} = \frac{\pi \cdot 6^2 \cdot 7}{4} \cdot 2 = 395,64 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр8}} = \frac{\pi \cdot (27,72^2 - 15,2^2) \cdot 1,0}{8} = 210,91 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр9}} = 3 \cdot 36^2 \cdot \text{tg}30^\circ \cdot 1,0 = 7776 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр10}} = 16 \cdot 12 \cdot 1,0 \cdot 2 = 384 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр11}} = \frac{\pi \cdot 16^2 \cdot 1,0}{8} \cdot 2 = 200,96 \text{ мм}^3.$$

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

$$V_{\text{пр}} = 687,5 + 2138,03 + 595,26 + 4451,4 + 395,64 + 210,91 + 7776 + 384 + 200,96 = 16839,7 \text{ мм}^3 = 16,84 \text{ см}^3.$$

Загальні маси припусків:

– лиття у піщані форми:

$$m_{\text{пр1}} = 40,28 \cdot 2,6 = 104,728 \text{ г} = 0,105 \text{ кг}.$$

– лиття під тиском:

$$m_{\text{пр2}} = 16,84 \cdot 2,6 = 43,784 \text{ г} = 0,044 \text{ кг}.$$

Визначаємо маси заготовок за формулою (3.1):

– лиття у піщані форми:

$$Q_1 = 0,08 + 0,105 = 0,185 \text{ кг}.$$

– лиття під тиском:

$$Q_2 = 0,08 + 0,044 = 0,124 \text{ кг}.$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

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

– лиття у піщані форми:

$$K_{в.м.1} = \frac{0,08}{0,185} = 0,43.$$

– лиття під тиском:

$$K_{в.м.2} = \frac{0,08}{0,124} = 0,65.$$

Для розроблення технологічного процесу виготовлення фланця 753.174.087 вибираємо спосіб виготовлення заготовки із більшим коефіцієнтом використання матеріалу, тобто лиття під тиском.

3.3. Формування технологічного процесу

Для виготовлення фланця 753.174.087 розглянуто декілька різних варіантів, що представлено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Варіанти технологічного процесу виготовлення фланця 753.174.087

№ пов.	Вид поверхні, позначення	Вихідні параметри деталі		Варіанти методів, маршрутів обробки поверхонь	
		Квалітет (ступінь точності)	Шорсткість, мкм	1	2
1	2	3	4	5	6
1	Торцева поверхня 61h14 _(-0,74)	14	Ra6,3	Напівчистове точіння поперечною подачею	–
2	Внутрішня фаска Ø32H14 ^(+0,62) ; 45°±1°	14	Ra12,5	Напівчистове розточування	Зенкування фаски
3, 18	Паз 18H14 ^(+0,43) ; 18±0,2; 21±0,2	14	Ra6,3	Фрезерування трьох-сторонньою фрезою	–
4	Шестигранна зовнішня поверхня 36±0,45	7 клас точності	Rz50	Не підлягає обробці різінанням	–

Закінчення таблиці 3.4

5	Зовнішня канавка $b=3,5H14^{(+0,3)}$; $\varnothing 27,8h14_{(-0,52)}$; $45^{\circ} \pm 1^{\circ}$	14	Ra12,5	Точіння методом копіювання	—
6	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 29,85_{-0,26}$; $l=14$ під різь $M30 \times 1,5-8g$	13	Ra6,3	Напівчистове точіння при поперечній подачі	Напівчистове точіння при поздовжній подачі
7	Зовнішня різева поверхня $M30 \times 1,5-8g$; $l=16$	13	Ra6,3	Накатування різі накатними роликами	Фрезеру- вання різі гребінча- стою фрезою
8, 19	Зовнішня фаска $1 \times 45^{\circ}$	14	Ra12,5	Напівчистове точіння	—
9	Торцева поверхня $61h14_{(-0,74)}$	14	Ra12,5	Напівчистове точіння	—
10	Внутрішня фаска $3 \times 45^{\circ}$	14	Ra12,5	Напівчистове розточування	Зенкування
11	Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 18H7^{(+0,018)}$	7	Ra1,6	Зенкерування Розвертання чорнове Розвертання чистове	Розсверд- лювання Зенкерування Розвертання чорнове Розвертання чистове
12, 13	Два наскрізні отвори $\varnothing 4,95^{+0,26}$; $l=7$ під різь M6-7H	13	Ra6,3	Свердління по кондуктору	—
14, 15	Внутрішня фаска $1,5 \times 45^{\circ}$	14	Ra12,5	Формування при свердлінні комбінованим свердлом	Зенкування
16, 17	Два наскрізні різеві отвори M6-7H; $l=7$	13	Ra6,3	Нарізання різі мітчиком	—

Одержано операційний маршрут обробки фланця 753.174.087.

005 Токарно-револьверна

1. Підрізати остаточно торець 1, витримуючи розміри $62,1_{-0,74}$ з поперечного супорта.

2. Зенкувати внутрішню фаску 2, витримуючи розмір $\varnothing 32^{+0,62}$; $45^{\circ} \pm 1^{\circ}$ з

револьверної головки.

3. Точити зовнішню фаску 19, витримуючи розмір $1 \times 45^\circ$ з револьверної головки.

010 Токарна напівавтоматна

Позиція II. Підрізати остаточно торець 9, витримуючи розмір $61_{-0,74}$; точити зовнішню канавку 5, витримуючи розміри $b=3,5^{+0,3}$; $\varnothing 27,8_{-0,52}$; $45^\circ \pm 1^\circ$; точити зовнішню фаску 8, витримуючи розмір $2,1 \times 45^\circ$ з поперечного супорта одночасно.

Позиція III. Точити остаточно зовнішню циліндричну поверхню 6, витримуючи розміри $\varnothing 29,85_{-0,26}$; $l=14$ з поперечного супорта; зенкувати внутрішню фаску 10, витримуючи розмір $4,9 \times 45^\circ$ з поздовжнього супорта одночасно.

Позиція IV. Зенкерувати отвір 11, витримуючи розмір $\varnothing 17,7^{+0,11}$ з поздовжнього супорта.

Позиція V. Розвернути попередньо отвір 11, витримуючи розмір $\varnothing 17,958^{+0,027}$ з поздовжнього супорта.

Позиція VI. Розвернути остаточно отвір 11, витримуючи розмір $\varnothing 18^{+0,018}$ з поздовжнього супорта.

Перевірити розміри: $61_{-0,74}$; $b=3,5^{+0,3}$; $\varnothing 27,8_{-0,52}$; $45^\circ \pm 1^\circ$; $\varnothing 29,85_{-0,26}$; $l=14$; $\varnothing 18^{+0,018}$; $1 \times 45^\circ$; $3 \times 45^\circ$. Контроль 30%

015 Горизонтально-фрезерна операція

Фрезерувати паз 3, 18, витримуючи розміри $18^{+0,43}$; $18 \pm 0,2$; $21 \pm 0,2$.

020 Вертикально-свердлильна операція

Свердлити два отвори 12, 13 з формуванням фасок 14, 15, витримуючи розміри $\varnothing 4,95^{+0,26}$; $l=7$; $1,5 \times 45^\circ$ одночасно по кондуктору.

025 Вертикально-свердлильна операція

Нарізати різь 16, 17, витримуючи розміри M6-7H; $l=7$ одночасно.

030 Різенакатна

Накатати різь 7, витримуючи розміри M30 \times 1,5-8g; $l=16$.

Операція 035 Контроль.

3.4. Визначення припусків на оброблення

Результати оформлено у вигляді таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Розрахункові припуски фланця 753.174.087

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
Паз 18H14 ^(+0,43) ; 18±0,2; 21±0,2					
Фрезерування	14	Ra6,3	0,43	1,0 × 2 = 2,0	18 ^{+0,43}
Заготовка	7-мий кл.	Rz50	0,8	–	16 ±0,4
Зовнішня циліндрична поверхня Ø29,85 _{-0,26} під різь М30×1,5-8g					
Напівчистове точіння при поперечній подачі	13	Ra6,3	0,26	1,1 × 2 = 2,2	Ø29,85 _{-0,26}
Заготовка	7-мий кл.	Rz50	0,9	–	Ø32,05±0,45
Торцева поверхня 61h14 _(-0,74)					
Точіння напівчистове одного торця	14	Ra6,3	0,74	1,1	61 _{-0,74}
Точіння напівчистове іншого торця	14	Ra12,5	0,74	1,1	62,1 _{-0,74}
Заготовка	7-мий кл.	Rz50	1,0	1,1 × 2 = 2,2	63,2±0,5
Торцева поверхня 20h14 _(-0,52)					
Точіння чорнове одного торця	14	Ra12,5	0,52	1,0	20 _{-0,52}
Заготовка	7-мий кл.	Rz50	0,8	–	19±0,4

3.5. Визначення режимів різання

Результати оформлено у вигляді таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Режими різання механічної обробки фланця 753.174.087

Номер, назва операції, зміст переходу	t, мм	L, мм	i	T _m , хв	S _v , мм/об	n, об/хв	V, м/хв	S _m , мм/хв	T _о , хв	N, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005 Токарно-револьверна										
Перехід 2 Підрізати остаточно торець 1, витримуючи розміри 62,1 _{-0,74} з поперечного супорта	1,1	12,45	1	62	0,31	1501	174,4	451	0,029	0,8
Перехід 3 Зенкувати внутрішню фаску 2, витримуючи розмір $\varnothing 32^{+0,62}$; 45°±1° з револьверної головки	7,32	9,32	1	32	0,14	556	72	66,7	0,15	1,4
Перехід 4 Точити зовнішню фаску 19, витримуючи розмір 1×45° з револьверної головки	1,0	6	1	62	0,4	1504	174,4	452	0,014	0,74
010 Токарна напівавтоматна										
Позиція II Підрізати остаточно торець 9, витримуючи розмір 61 _{-0,74} ; точити зовнішню канавку 5, витримуючи розміри b=3,5 ^{+0,3} ; $\varnothing 27,8_{-0,52}$; 45°±1°; точити зовнішню фаску 8, витримуючи розмір 2,1×45° з поперечного супорта одночасно	1,1 2,125	12 7,125	1	151 46	0,11	361	36,4	35	0,335	0,05 0,16

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Позиція III Точити остаточно зовнішню циліндричну поверхню 6, витримуючи розміри $\varnothing 29,85_{-0,26}$; $l=14$ з поперечного супорта; зенкувати внутрішню фаску 10, витримуючи розмір $4,9 \times 45^\circ$ з поздовжнього супорта одночасно	4,9 1,1	6,9 6,2	1	106,6 31	0,056	362	36,4	20,54	0,334	0,22 0,46
Позиція IV Зенкерувати отвір 11, витримуючи розмір $\varnothing 17,7^{+0,11}$ з поздовжнього супорта	1,75	54	1	154	0,445	362	22	160,58	0,335	0,06
Позиція V Розвернути попередньо отвір 11, витримуючи розмір $\varnothing 17,958^{+0,027}$ з поздовжнього супорта	0,129	66	1	154	0,544	362	20,4	196,4	0,335	–
Позиція VI Розвернути остаточно отвір 11, витримуючи розмір $\varnothing 18^{+0,018}$ з поздовжнього супорта	0,021	66	1	154	0,544	362	20,36	196,4	0,335	–
015 Горизонтально-фрезерна										

Закінчення таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перехід 2 Фрезерувати паз 3, 18, витримує розміри 18 ^{+0,43} ; 18±0,2; 21±0,2	18	312	1	302	Sz 0,1 мм/зу б So 1,8 мм/об	501	392,6	901	0,36	2,4
020 Вертикально-свердлильна										
Перехід 2 Свердлити два отвори 12, 13 з формуванням фасок 14, 15, витримуючі розміри Ø4,95 ^{+0,26} ; l=7; 1,5×45° одночасно по кондуктору	2,5	10,5	1	51	0,14	1402	21	167	0,064	1,86
025 Вертикально-свердлильна										
Перехід 2 Нарізати різь 16, 17, витримуючі розміри М6-7Н; l=7 одночасно	0,54	20	1	42	1,01	501	9,44	501	0,04	0,12
030 Різенакатна										
Перехід 2 Накатати різь 7, витримуючі розміри М30×1,5-8g; l=16	0,625	16	1	—	—	80 об.по ликів 8 об. деталі	4,4	—	0,21	0,25

Результати розрахунку технічних норм часу на механічну обробку фланця 753.174.087 оформлено у вигляді таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Норми часу на механічну обробку фланця 753.174.087

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 _{плз.} , хв.	n, шт	T _{шт.к.} , хв
		T _{у.}	T _{пер.}	T _{вим.}			T _{тех.об.}	T _{орг.об.}	T _{відц.}				
005 Токарно-револьверна	0,181	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6190	0,38
010 Токарна напів-автоматна	0,336	0,12	0,01	0,129	0,042	0,378	0,007	0,012	0,027	0,434	73,7		0,446
015 Горизонтально-фрезерна	0,088	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6190	0,201
020 Вертикально-свердлильна	0,063	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		0,15
025 Вертикально-свердлильна	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		0,1
030 Різенкатна	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		0,302

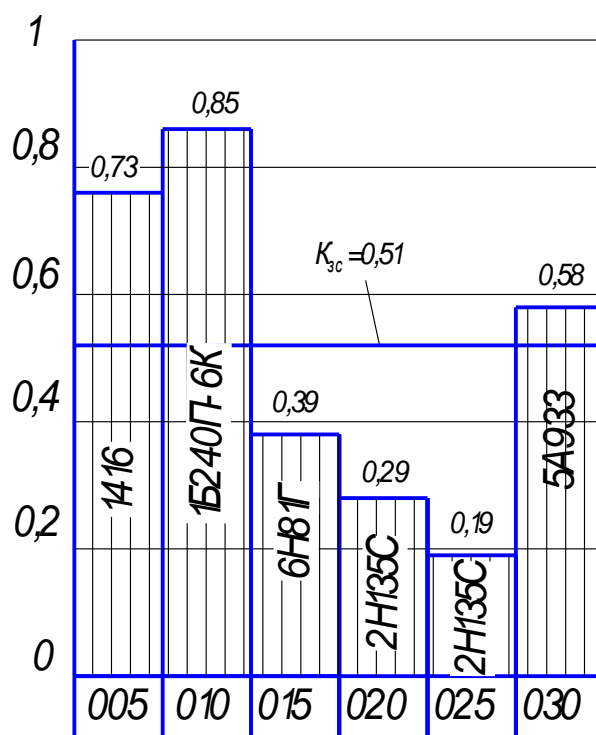


Рисунок 3.1 – Графік завантаження обладнання

3.6. Розрахунок пристосування

Для фрезерування паза 18H14^(+0,43); 18±0,2; 21±0,2 фланця 753.174.087 на горизонтально-фрезерній операції 015 розроблено спеціальний чотирьохмісний пристрій. Розрахункову схему пристрою із прикладеними векторними силовими параметрами представлено на рисунку 3.4.

Заготовка базується на призму зовнішньою циліндричною поверхнею Ø29,85_(-0,26) і торцем – на плоску опору; закріплення здійснюється по необробленій шестигранній поверхні. Заготовка в пристосуванні закріплюється від пневмоциліндра коромислом. На заготовку при фрезеруванні діє крутний момент різання $M_{кр}$.

Крутний момент різання визначаємо за формулою:

$$M_{кр} = P_z \cdot r, \quad (3.4)$$

де P_z – тангенціальна складова сили фрезерування;

r – радіус фрезерування, $r = 0,009$ м.

Сила затиску заготовки в пристосуванні:

$$P_3 = \frac{2mK \cdot P_z \cdot r}{D_3 \cdot \left(\frac{f_2 + f_1}{\sin \alpha} \right)} + 2P_{II}, \quad (3.5)$$

де f_1, f_2 – коефіцієнт тертя між поверхнею заготовки та елементами пристрою;

$f_1 + f_2 = 0,16$;

$\alpha = 45^\circ$;

D_3 - діаметр заготовки, $D_3 = 0,02985$ м;

m – кількість заготовок у пристосуванні, $m = 4$;

P_{II} - сила опору пружини, $P_{II} = 30$ Н.

Сила різання при фрезеруванні паза [20]:

$$P_z = \frac{0,25 \cdot 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^n \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{MP}, \quad (3.6)$$

Поправочний коефіцієнт [20]:

$$K_{\text{мр}} = \left(\frac{\sigma_{\text{в}}}{750} \right)^n, \quad (3.7)$$

$$\sigma_{\text{в}} = 550 \text{ МПа};$$

$$n = 0,3 [20];$$

$$K_{\text{мр}} = \left(\frac{550}{750} \right)^{0,3} = 0,9 [20].$$

$$C_p = 261; x = 0,9; y = 0,8; n = 1,1; q = 1,1; w = 0,1. [20].$$

$$t = 18 \text{ мм};$$

$$S_z = 0,1 \text{ мм/зуб};$$

$$B = 18 \text{ мм};$$

$$z = 3;$$

$$D = 250 \text{ мм};$$

$$n = 500 \text{ хв}^{-1};$$

$$P_z = \frac{0,25 \cdot 10 \cdot 261 \cdot 18^{0,85} \cdot 0,1^{0,8} \cdot 18^{1,1} \cdot 3}{250^{1,1} \cdot 500^{0,1}} \cdot 0,9 = 107,6 \text{ Н}.$$

$K = 3,7$ коефіцієнт запасу [20].

$$\text{Отже, } P_3 = \frac{2 \cdot 4 \cdot 3,7 \cdot 107,6 \cdot 0,009}{0,02985 \cdot \left(\frac{0,16}{\sin 45} \right)} + 2 \cdot 30 = 4304 \text{ Н}.$$

Зусилля затиску, що виникає при застосуванні пневмоциліндра із врахуванням передаточно-підсилюючого механізму:

$$W = \frac{F_{\text{шт.тяг.}}}{\left(\text{tg} \left(\beta + \text{arctg} \left(\varphi \cdot \frac{d}{D} \right) \right) + \text{tg} \varphi_1 \right)}, \quad (3.8)$$

де $\beta = 10^\circ$;

d – внутрішній діаметр ролика, $d = 12 \text{ мм}$;

D – зовнішній діаметр ролика, $D = 24 \text{ мм}$.

$$W = \frac{2826}{\left(\operatorname{tg} \left(10 + \operatorname{arctg} \left(0,16 \times \frac{12}{24} \right) \right) + \operatorname{tg} 6 \right)} = 7740 \text{ Н.}$$

Умова затиску заготовки $P_3 \leq W$, $4304 \text{ Н} < 7740 \text{ Н}$ виконується.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Технічні та організаційні заходи щодо зменшення рівня шуму та вібрації на ділянці, що проектується

Загальні методи боротьби з вібрацією базуються на аналізі рівнянь, які описують коливання машин у виробничих умовах і класифікуються таким чином:

- зниження вібрацій в джерелі виникнення шляхом зниження або усунення збуджувальних сил;
- налагодження від резонансних режимів раціональним вибором приведеної маси або жорсткості системи, яка коливається;
- вібродемпферування — зниження вібрацій за рахунок сили тертя демпферного пристрою, тобто переведення коливної енергії в тепло;
- динамічне гасіння — введення в коливну систему додаткових мас або збільшення жорсткості системи;
- віброізоляція — введення в коливну систему додаткового, пружного зв'язку, з метою послаблення передавання вібрацій суміжному елементу конструкції або робочому місцю
- використання індивідуальних засобів захисту.

Зниження вібрації у джерелі виникнення досягається шляхом зменшення сили, яка викликає коливання. Тому ще на стадії проектування машин та механічних пристроїв потрібно вибирати кінематичні схеми, в яких динамічні процеси, викликані ударами та прискореннями, були б виключені або знижені.

Налагодження режиму резонансу. Для послаблення вібрацій істотне значення має запобігання резонансним режимам роботи з метою виключення резонансу з частотою збуджувальної сили. Власні частоти окремих елементів визначаються розрахунковим методом за відомими значеннями маси та жорсткості або ж експериментально на стендах.

Вібродемпферування. Цей метод зниження вібрацій реалізується шляхом перетворення енергії механічних коливань коливної системи в теплову енергію.

Збільшення витрат енергії в системі здійснюється за рахунок використання в якості конструктивних матеріалів з великим внутрішнім тертям: пластмас металогуми, сплавів марганцю та міді, нікелетитанових сплавів, нанесення на

вібруючі поверхні шару пружнов'язких матеріалів, які мають великі втрати на внутрішнє тертя.

Найбільший ефект при використанні вібродемпферних пристроїв досягається в області резонансних частот, оскільки при резонансі значення впливу сил тертя на зменшення амплітуди зростає.

Віброгасіння. Для динамічного гасіння коливань використовуються динамічні віброгасії: пружинні маятникові, ексцентрикові, гідравлічні, вони являють собою додаткову коливну систему з масою m та жорсткістю q , власна частота якої налаштована на основну частоту коливань даного агрегату, що має масу M та жорсткість Q , віброгасій кріпиться на вібрувальному агрегаті й налаштовується таким чином, що в ньому в кожний момент часу збуджуються коливання, які знаходяться у протифазі з коливаннями агрегату.

Недоліком динамічного гасіння є те, що він діє лише за певної частоти, яка відповідає його резонансному режиму коливань.

Віброізоляція полягає у зниженні передачі коливань від джерела збудження до об'єкта, що захищається, шляхом введення в коливну систему додаткового пружного зв'язку.

Цей зв'язок запобігає передачі енергії від коливного агрегату до основи або від коливної основи до людини або до конструкцій, що захищаються.

Засоби індивідуального захисту від вібрації застосовуються у випадку, коли розглянуті вище технічні засоби не дозволяють знизити рівень вібрації до норми.

Для захисту рук використовуються рукавиці, вкладиші, прокладки. Для захисту ніг — спеціальне взуття, підметки, наколінники. Для захисту тіла — нагрудники, пояси, спеціальні костюми.

Відомі три основні напрямки боротьби з шумом:

1. Зменшення рівня шуму у джерелі виникнення, застосування раціональних конструкцій, нових матеріалів і технологічних процесів.
2. Звукоізоляція устаткування за допомогою глушників, резонаторів, кожухів, захисних конструкцій, оздоблення стін, стелі, підлоги тощо.
3. Використання засобів індивідуального захисту.

Технологічні заходи охоплюють характеристику і розміщення устаткування і машин, вимоги до розрахунку характеристик шуму на стадії проектування, обмеження шуму звукопоглинаючих конструкцій і екранів, фільтровентиляційних установок, заміну технологічних процесів і механізмів

на менш шумні, обладнання звукоізолюючих кабін операторів, дистанційне керування обладнанням, автоматизацію виробничих процесів зі зменшенням кількості операторів тощо.

Планувальні заходи передбачають ізоляцію шумних цехів від тихих приміщень, збільшення відстані між ними (на стадії проектування виробництва), розташування шумних цехів з підвітряного боку і торцем до фасаду інших будівель. Зелені насадження навколо шумних цехів і шумозахисна зона так само сприяють поглинанню шуму.

У виробничих умовах поряд із звукоізоляцією широко застосовують засоби звукопоглинання. З метою поглинання шуму приміщеннями цехів малого об'єму (400—500 м³) їх оздоблюють пористими матеріалами. Позитивний ефект звукопоглинання дає застосування мінеральних плит, матів з базальтового волокна, штукатурки пінистої або зернистої структури тощо. У приміщеннях великого об'єму ефективні звукопоглинаючі бар'єри і об'ємні поглиначі (куби, конуси тощо), які підвішують над шумними агрегатами для зниження рівня шуму на 5-12 дБ. Застосування звукопоглинаючих матеріалів у комплексі із заміною устаткування в окремих випадках знижує рівень шуму до нормативного (ткацькі цехи).

У боротьбі з аеродинамічним шумом (вихлопи і всмоктування повітря пневматичними інструментами, компресорами, вентиляторами тощо) застосовують глушники різної конструкції, які поглинають шум вихлопу або всмоктування повітря, газів і парів. Вибір типу глушника залежить від рівня і спектрального складу шуму. Для гасіння високочастотного шуму застосовують активні глушники, в основу яких покладено принцип звукової енергії, для гасіння низькочастотного шуму — реактивні глушники, що працюють як акустичний фільтр. Якщо немає змоги забезпечити дотримання вимог технічного характеру, важливого значення набувають організаційно-профілактичні заходи — застосування індивідуальних засобів захисту органів слуху.

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 схему процесу дорнування профільного отвору. Розроблено чотири варіанти виконання робочої частини інструменту з прямолінійними та радіусними елементами для дорнування профільного отвору: з конусною робочою частиною та прямолінійною частиною калібрування без радіусних робочих поверхонь, з радіусними спряженнями між конусною робочою частиною та прямолінійною частиною калібрування, з радіусними спряженнями між конусною робочою частиною та конусною частиною хвостовика, з радіусною робочою та калібрувальною частиною. Розроблено розрахункову схему для визначення силових параметрів процесу дорнування профільного отвору. Виведено рівняння для визначення зусилля дорнування профільного отвору інструментами із плоскими та радіусними робочими поверхнями. Побудовано графіки залежності загального зусилля дорнування профільного отвору від геометричних параметрів процесу.

Для інструмента із плоскою робочою поверхнею встановлено, що при збільшенні товщини δ деформованого шару поверхні отвору, ширини сторони H загальне зусилля дорнування профільного отвору у заготовці із алюмінієвого сплаву Д16Т зростає, а при збільшенні кута α нахилу робочої поверхні інструмента – спадає.

Збільшення кута α нахилу робочої поверхні інструмента від 6 град до 14 град призводить до зменшення загального зусилля дорнування профільного отвору на 35%. Таку залежність можна пояснити тим, що при збільшенні кута α нахилу робочої поверхні інструмента зменшується площа контакту між робочою частиною інструмента та поверхнею отвору. Збільшення товщини δ деформованого шару поверхні отвору від 0,02 мм до 0,08 мм призводить до збільшення загального зусилля дорнування профільного отвору в 4 рази, а збільшення ширини сторони H від 6 мм до 16 мм призводить до збільшення загального зусилля дорнування профільного отвору на 41%.

Для інструмента із радіусною робочою поверхнею встановлено, що при збільшенні радіуса R_4 робочої поверхні інструмента, товщини δ деформованого шару поверхні отвору, ширини сторони H загальне зусилля дорнування профільного отвору у заготовці із алюмінієвого сплаву Д16Т зростає.

Збільшення радіуса R_4 робочої поверхні інструмента від 10 мм до 24 мм призводить до зростання загального зусилля дорнування профільного отвору на 31%. Таку залежність можна пояснити тим, що при збільшенні радіуса R_4 робочої поверхні інструмента збільшується площа контакту між робочою частиною інструмента та поверхнею отвору. Збільшення товщини δ деформованого шару поверхні отвору від 0,02 мм до 0,08 мм призводить до збільшення загального зусилля дорнування профільного отвору в 2,27 рази, а збільшення ширини сторони H від 6 мм до 16 мм призводить до збільшення загального зусилля дорнування профільного отвору в 1,54 рази.

Зусилля дорнування профільного отвору при застосуванні інструменту із плоскими робочими поверхнями від 1,7 до 2,04 разів менше ніж при дорнуванні інструментом із радіусними поверхнями.

Розроблено технологічний процес виготовлення фланця 753.174.087.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кухарський О. М., Кушак І. В. Методичний посібник до курсового проекту по курсу “Технологія машинобудування”. Тернопіль, 2001. 58 с.
2. Классификатор ЕСКД. Иллюстрированный определитель деталей. Классы 71,72,73,74,75,76 (в отдельных книгах). М.: Издательство стандартов, 1986. 235 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, 2022. – 148 с.
4. Боженко Л. І. Технологія виробництва заготовок у машинобудуванні. Київ: НМК ВО, 1990. 264 с.
5. Дьячков В. Б. Специальные металлорежущие станки общемашиностроительного применения: справочник. М.: Машиностроение, 1983. 328 с.
6. Косилова А. Г., Мещеряков Р. К. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. М. : Машиностроение, 1985. Т. 2. 496 с.
7. Кухарський, О. М., Кузьмін М. І. Визначення припусків табличним методом. Тернопіль : Видавництво ТДТУ, 2004. 135 с.
8. Паливода Ю. Є., Кухарський О. М. Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом, Тернопіль, 2003. 81 с.
9. Косилова А.Г., Мещеряков Р. К. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. М. : Машиностроение, 1985. Т. 1. 1986. 656 с.
10. Барановский Ю. В. Режимы резания металлов. М.: Машиностроение, 1972. 258 с.
11. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б., Гевко Ів. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.
12. Горбачевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. Минск: Вышэйшая школа, 1975. 288 с.
13. Итин А. М., Родичев Ю. Я. Наладка и эксплуатация токарных многошпиндельных полуавтоматов. М. : Машиностроение, 1977. 136 с.
14. Ансеров М. А. Приспособления для металлорежущих станков. М.:

Машиностроение, 1966. 650 с.

15. 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.

16. Barter S, Dixon B. Investigation using quantitative fractography of an unexpected failure in an F/A-18 centre fuselage bulkhead in the FINAL teardown program. *Eng Fail Anal* 2009;16(3):833–48.

17. Жидецький В. Ц., Джигирей В. Ц., Мельников О. В. Основи охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 350 с.

18. Жидецький В. Ц. Практикум із охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 349 с.

19. Papanikos P, Meguid SA. Three-dimensional finite element analysis of cold expansion of adjacent holes. *Int J Mech Sci* 1998;40(10):1019–28.

20. 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.

21. Вплив натягу дорнування на кінетику росту втомної тріщини за сталої амплітуди навантаження / О. Дивдик, В. Ясній, О. Ляшук, І. Окіпний, Р. Комар, П. Сокіл // Міцність і довговічність сучасних матеріалів та конструкцій. Праці Міжнародної науково-технічної конференції, 10-11 листопада 2022 р.: тези доп. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. С. 91 - 92.

22. Fu Yucan, Ge Ende, Su Honghua, Xu Jiuhua, Li Renzheng Cold expansion technology of connection holes in aircraft structures: A review and prospect. *Chinese Journal of Aeronautics*. (2015), 28(4) p. 961-973.

23. Chakherlou TN, Aghdam AB, Akbari A, Saeedi K. Analysis of cold expanded fastener holes subjected to short time creep: finite element modelling and fatigue tests. *Mater Des* 2010;31(6):2858–66.

24. Дичковський М. Г. Технологічна оснастка. Проектно-конструкторські розрахунки пристосувань: навч. посіб. Тернопіль : ТДТУ, 2001. 277 с.

25. Maximov JT, Dunchева GV. A new 3D finite element model of the

spherical mandrelling process. *Finite Elem Anal Des* 2008;44(6–7):372–82.

26. Semari Z, Aid A, Benhamena A. Effect of residual stresses induced by cold expansion on the crack growth in 6082 aluminum alloy. *Eng Fract Mech* 2013;99:159–68.

27. Su M, Amrouche A, Mesmacque G, Benseddiq N. Numerical study of double cold expansion of the hole at crack tip and the influence on the residual stresses field. *Comput Mater Sci* 2008;41(3):350–5. 27. Leon A. Benefits of split mandrel coldworking. *Int J Fatigue* 1998;20(1):1–10.

28. Boni L, Lanciotti A, Polese C. Some contraindications of hole expansion in riveted joints. *Eng Fail Anal* 2014;46:140–56.

29. Giglio M, Lodi M. Optimization of a cold-working process for increasing fatigue life. *Int J Fatigue* 2009;31(11–12):1978–95.

30. Maximov JT, Dunchева GV, Amudjev IM. A novel method and tool which enhance the fatigue life of structural components with fastener holes. *Eng Fail Anal* 2013;31:132–43.

31. Victor Achard, Alain Daidié, Manuel Paredes, Clément Chirol. Optimization of the Cold Expansion Process for Titanium Holes . *Advanced Engineering Materials*, Wiley-VCH Verlag, 2017, 19 (6), pp.1500626 1-13.

32. David Curto-Cárdenas, Jose Calaf-Chica, Pedro Miguel Bravo Díez, Mónica Preciado Calzada and Maria-Jose Garcia-Tarrago. Cold Expansion Process with Multiple Balls— Numerical Simulation and Comparison with Single Ball and Tapered Mandrels. *Materials* 2020, 13, 5536; doi:10.3390/ma13235536.

33. Petro Yasniy, Ihor Okipnyi, Oleksandr Dyvdyk, Anna Rudawska, Viktor Senchyshyn. Residual lifetime of the plates with preexisting crack near cold expanded hole. *Procedia Structural Integrity*, 2022, 36, pp. 197-202.

34. Lyashuk, O., Okipnyi, I., Mykulyk, P., Hevko, R., Lutsiv, I., Pastukh, O., & Vovk, Y. (2022). The Dynamics of Impulse Strengthening Process of Screw Crest. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Mechanical Engineering*, 46(4), pp. 839-850.

35. P.O. Maruschak, I.B. Okipnyi, L. Ya. Poberezhnyi, E.V. Maruschak (2013). Study of heat-resistant steel strain hardening by indentation. *Metallurgist*, 56(11), pp. 946-951.

36. P.V. Yasnii, V.B. Glad'ko, I.B. Okipnyi (2007). Relationship between rupture stress and microstructure parameters of plastically deformed heat-resistant steel. *Strength of materials*, 39(4), pp. 349-357.