

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Машинобудівний факультет

(повне найменування інституту, назва факультету)

Металорізальні верстати та інструменти

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістр

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему Дослідження шпиндельного вузла та розробка
програмного забезпечення роботизованої установки для високосвид-
-кісного свердління

Виконав: студент VІ курсу, групи М-213н
спеціальності (напряму підготовки)

133 Галузь машинобудування

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Воротнікова А.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Фролов М.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Івченко Л.П.

(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя

2018 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Машинобудівний факультет

Кафедра Металорізальних верстатів та інструменту

Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) Магістр

Спеціальність 133 Галузь машинобудування
 (код і назва)

Напрямок підготовки Металорізальні верстати та системи
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Фролов Н.В.

" 17 " 12 2018 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Воротнікова Анастасія Володимирівна
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження шпиндельного вузла та розробка програмного забезпечення роботизованої установки для високшвидкісного свердління

керівник проекту (роботи) Фролов Михайло Володимирович
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "04" листопада 2018 року № 346

2. Строк подання студентом проекту (роботи) липень 2019р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Необхідність дослідження шпиндельного вузла та розробка програмного забезпечення роботизованої установи

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз факторів, що впливають на надійність шпиндельних вузлів. Оптимізація їх конструкції. Конструкція та кінтовування латор-шпинделів для високшвидкісної обробки. Інтерактивний режим роботи шпиндельних вузлів. Розрахунок опор на довговіжність. Кінematica довговіжності. Система охолодження шпиндельного вузла. Особливі елементи при розробці програмного забезпечення. Аналіз розробки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Ідентифікація

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	Кандидат технічних наук, доцент Фролов Н.В.		
2	Кандидат технічних наук, доцент Фролов Н.В.		
3	Кандидат технічних наук, доцент Фролов Н.В.		
4	Кандидат технічних наук, доцент Фролов Н.В.		
Нормо контр	Старший викладач Русіко А.В.	17.12.18	
	Шмирко В.І., к.т.н., доц		

7. Дата видачі завдання вересень 2018р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Обрати всі необхідні конструкторські матеріали для виготовлення	10.09.18	
2	Визначення режимів різання при обробці конструкторських матеріалів, тестування свердла	17.09.18	
3	Аналіз параметрів, що впливають на надійність машинних вузлів. Оптимізація їх конструкції	20.09.18	
4	Конструювання та налаштування номер-машини для високоефективної обробки	1.10.18	
5	Аналіз опор машинних вузлів	4.10.18	
6	Оцінка надійності конструкцій номер-машини	22.10.18	
7	Машинний режим роботи машинних вузлів	30.10.18	
8	Врахунок опор на довговічність машинних вузлів	13.11.18	
9	Врахунок несучої здатності роботи	24.11.18	
10	Система охолодження машинних вузлів	30.11.18	
11	Вибір програмного забезпечення	5.12.18	
12	Охорона праці	6.12.18	

Студент

(підпис)

Воронікова А.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Фролов Н.В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: стор. 79, рис. 14, таблиць 7.

Об'єкт дослідження – шпиндельний вузол роботизованої установки та програмне забезпечення для високошвидкісного свердління.

Метою роботи є підвищення надійності сучасних багато-опорних шпиндельних вузлів шляхом вдосконалення їх конструкції та розробка програмного забезпечення для високошвидкісної обробки безпосередньо через CAD/CAM програму CREO.

В роботі розглянуто фактори технологічної системи, що визначають високошвидкісну обробку. Було досліджено вплив підвищення швидкості різання на процес обробки композиційного матеріалу. Проаналізовано конструкції шпиндельних вузлів металорізальних верстатів. Головну увагу звернено на конструкції і компонування вузлів. Виконано розрахунок опор в шпиндельному вузлі на довговічність та розрахунок несучої здатності робота. Наведено приклад створення керуючих програм за допомогою G коду. Розроблено алгоритм створення постпроцесору у середовищі програмного забезпечення Creo. Було виконано обробку експериментальних деталей на верстаті для перевірки точності відтворення керуючої програми, що була отримана з використанням розробленого програмного забезпечення.

ВИСОКОШВИДКІСНА ОБРОБКИ, ПОДАЧА, ЧАСТОТА ОБЕРТАННЯ ШПИНДЕЛЯ, ШВИДКІСТЬ РІЗАННЯ, ТЕМПЕРАТУРА, МОТОР - ШПИНДЕЛЬ, ПІДШИПНИКИ, КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.

ABSTRACT

Explanatory note: p.79, drawing 14, table 7.

The object of the investigation - motor – spindle assembly of robotic installation and development of high speed drilling machine.

The task of course project is analysis and development of a motor – spindle and software of robotic installation for high-speed drilling.

The purpose of the work is to improve the accuracy of modern multi-threaded spindle units by improving their design and developing software for robotic installation.

At this project were analyze: factors of the technological system that can affect high-speed milling, increasing of the temperature during milling and parameters that will involve in it, configuration of spindle assemblies. The main attention was make to the design and assembly of motor-spindle. The calculation of the supports in the spindle for durability is performed, calculation of the bearing capacity of the robot is given.

General information about making NC program within using G-code. The process of creating Postprocessor within Creo provided. Experimental models presented for checking accuracy of software that was developed.

HIGH-SPEED PROCESSING, FEED, SPINDLE FEED, TEMPERATURE, MOTOR SPINDLE, COMPOSITE MATERIALS, ROBOTIC INSTALLATIONS, SOFTWARE.

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Літературний огляд	9
1.1 Особливості обробки композиційних матеріалів свердлінням. Загальні відомості.	7
1.2 Інструментальні матеріали, що використовуються для обробки композиційних матеріалів.....	13
1.3 Геометрія свердл	17
1.4 Призначення режимів різання при обробці композиційних матеріалів.....	20
2 Аналіз факторів, що впливають на надійність шпиндельних вузлів. Оптимізація їх конструкції.....	31
2.1 Актуальність та аналіз методів оптимізації шпиндельних вузлів.....	31
2.2 Конструкція та компонування мотор – шпинделів для високошвидкісної обробки.....	34
2.3 Аналіз опор шпиндельних вузлів для швидкісного різання.....	37
2.4 Оцінка надійності компонентів мотор-шпинделя для високошвидкісної обробки.....	41
2.5 <i>Температурний режим роботи підшипників</i>	48
3 Конструкторський розділ.....	52
3.1 Розрахунок сили при свердленні.....	52
3.2 Розрахунок опор на довговічність. Номінальна довговічність.....	54
3.3 Розрахунок несучої здатності робота.....	56
3.4 Система охолодження шпиндельного вузла, як інструмент для компенсації температурної деформації верстата.....	60

4	Розробка програмного забезпечення для високошвидкісної обробки через CAD/CAM програму CREO.....	63
4.1	Основні елементи постпроцесору.....	65
4.2	Алгоритм розробки програмного забезпечення при роботі в CAD/CAM системі CREO.....	68
4.3	Перевірка точності виконання обробки при використанні програмного забезпечення.....	70
5	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	71
5.1	Аналіз потенційних небезпек.....	71
5.2	Заходи щодо забезпечення техніки безпеки.....	72
5.3	Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці...75	
5.4	Вплив використання постпроцесора на небезпечні та шкідливі фактори.....	78
5.5	Заходи пожежної безпеки.....	80
5.6	Організація навчання працюючого та непрацюючого населення діям у надзвичайних ситуаціях.....	81
	Висновки.....	85
	Перелік використаної літератури.....	87

ВСТУП

Сучасне машинобудування характеризується безперервним збільшенням швидкостей робочих процесів, великими потужностями приводів, зосередженими в одному агрегаті та автоматизацією виробництва. Використання сучасних підходів до виробництва впливає на зростання вимог до якості виготовлення деталей та їх точності. Від механоскладального циклу виробництва залежить остаточне формоутворення деталей і вірна збірка машин.

Першим напрямом до підвищення якості виробництва є - безперервне збільшення потужностей машин, що несе за собою послідовне укрупнення агрегатів. Другим напрямком є необхідність використовувати високі швидкості і зростання числа обертів при обробці сучасних матеріалів. На сьогоднішній день все частіше використовуються мотор-шпинделі, що дозволяють отримувати частоту оборотів від 100000 за хвилину і більше. Третій напрям у розвитку машинобудування - повна автоматизація та мінімізація участі людини у виробничому процесі.

Розвиток технологій обробки металів різанням йде в напрямку впровадження методів високошвидкісної обробки. Одним з основних компонентів для такої обробки є мотор-шпинделі.

Для забезпечення високих частот обертання в конструкції використовуються гібридні керамічні підшипники, а також система масляно-повітряного змащування. Найбільш критичними компонентами будь якого мотор-шпинделя є система підшипників, а також компоненти асинхронного двигуна. Для експлуатації таких вузлів, вибору раціонального режиму роботи та регламентів технічного обслуговування важливо прогнозувати їх можливі відмови на основі статистичних методів та теорії надійності.

Метою роботи є - підвищення точності сучасних багато-опорних шпиндельних вузлів, їх конструкції. Наведено приклад утворення керуючих програм за допомогою G коду. Розроблено алгоритм створення постпроцесору

у CAD/CAM програмі Creo. Було виготовлено деталі для перевірки коректного виводу інформації, що необхідна для обробки за допомогою розробленого програмного забезпечення.

Для вирішення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Виконати літературний огляд, щодо особливостей високошвидкісної обробки матеріалів.
2. Враховуючи рекомендації для ріжучого інструменту при високошвидкісної обробки розрахувати режими різання на попередню і остаточну обробку деталі.
3. Провести теоретичні дослідження впливу швидкості обертання на температурні поля.
4. Виконати огляд літератури з наступних питань: високошвидкісна обробка композиційних матеріалів, зокрема полімер-сотопластів, інструментальні матеріали, що використовуються, геометрія інструмента та найбільш доцільні режими різання для певного виду робіт, компоновання та конструкція мотор-шпинделів, опори та температурні впливи в підшипниках.
5. Розрахувати опори на довговічність
6. Проаналізувати та зробити розрахунок навантаження та несучої здатності робота установки.
7. Виконано оцінку надійності компонентів мотор-шпинделя для високошвидкісної обробки
8. Аналіз систем охолодження для компенсації температурних деформацій.
9. Отримання практичних навичок роботи у PTC Creo.
10. Аналіз та порівняння оброблюваних матеріалів, режимів різання та інструментів, що використовуються на даному верстаті. Отримання оптимальних режимів різання відповідно оброблюваного матеріалу, виду поверхні, та необхідної якості.
11. Розробка програмного забезпечення для роботизованої установки.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Особливості обробки композиційних матеріалів свердлінням.

Загальні відомості.

Композиційний матеріал - неоднорідний суцільний матеріал, що складається з двох або більше компонентів, серед яких можна виділити армуючі елементи, що забезпечують необхідні механічні характеристики матеріалу, і матрицю, що забезпечує спільну роботу армуючих елементів. Механічне поведінка композиту визначається співвідношенням властивостей армуючих елементів і матриці, а також міцністю зв'язку між ними. Ефективність і працездатність матеріалу залежать від правильного вибору вихідних компонентів і технології їх суміщення, покликаної забезпечити міцний зв'язок між компонентами при збереженні їх початкових характеристик. У результаті суміщення армуючих елементів і матриці утворюється комплекс властивостей композиту, не тільки відображає вихідні характеристики його компонентів, але і включає властивості, якими ізольовані компоненти не володіють. Зокрема, наявність кордонів розділу між армуючими елементами і матрицею істотно підвищує тріщиностійкість матеріалу, і в композитах, на відміну від металів, підвищення статичної міцності призводить не до зниження, а, як правило, до підвищення характеристик в'язкості руйнування.

Переваги композиційних матеріалів:

- Висока питома міцність;
- Висока жорсткість (модуль пружності 130 ... 140 ГПа);
- Висока зносостійкість;
- Висока втомна міцність;

Конструкції виготовлені з КМ мають високу точність розмірів, причому, різні класи композитів можуть володіти одним або декількома перевагами.

Найбільш часті недоліки композиційних матеріалів:

- Висока вартість;
- Анізотропія властивостей;
- Підвищена наукоємність виробництва, необхідність спеціального дорогого обладнання та сировини, а отже розвиненого промислового виробництва та наукової бази країни.

Композиційні матеріали класифікують за рядом ознак:

- за формою зміцнювального компонента (волокнисті, дисперсно-зміцнені, шаруваті). Волокна можуть бути безперервними і дискретними;
- за видом матеріалу матриці (металеві, керамічні, полімерні, вуглецеві);
- за схемою армування (для волокнистих матеріалів) — з одновісним, двовісним, тривісним та багатовісним армуванням;
- за видом матеріалу зміцнювача (металеві частинки, металеві волокна і шари, вуглецеві, борні, скляні, органічні, керамічні волокна). Залежно від технології введення армувальних волокон у матрицю застосовують різні форми армувальних елементів — нитки, джгути, стрічки, тканини.

У КМ на основі полімерних матриць як полімер використовують епоксидні, фенольні, поліуретанові, поліамідні смоли. Ці смоли мають низьку густину, невисоку температуру полімеризації, високу міцність і жорсткість, достатню адгезійну міцність з основними видами армувальних волокон, гарні технологічні властивості [13].

Як матеріали зміцнювачів застосовують високоміцні і високожорсткі (з високим модулем пружності E) волокна всіх перелічених вище типів залежно від умов роботи виробу. Ними можуть бути тонкий дріт, спеціально виготовлені волокна, вуса. Діаметр волокон змінюється від одиниць до декількох десятків мікрометрів.

У КМ з металевою матрицею основним матеріалом для матриць є сплави на основі Al, Mg, Ti, іноді нікелеві сплави. Як зміцнювач використовують

вуглецеві волокна, нитки з карбїду кремнію, оксиди алюмінію, бору, тонкі дроти металів.

У КМ керамічного типу матрицею служать оксиди, нітриди, карбїди, інтерметалїди.

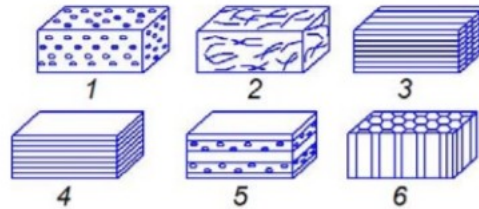


Рисунок 1.1 - Приклади полімерних композиційних матеріалів

На рисунку 1.1: 1 - композит з дисперсними частками; 4 - листовий (шаруватий) пластик; 2 - композит, армований короткими волокнами, розташованими хаотично; 5 - поліармірований шаруватий композит; 3 - односпрямований композит тобто армований безперервними волокнами, розташованими в одному напрямку; 6 - полімерсотопласт (сотовий заповнювач) [14, с.127].

Роботизована установка, що розглядається у даній курсовій роботі використовується для свердління великої групи невеликих розмірів отворів в шумопоглинаючих панелях, які частково виготовляються з полімер сотопластів.

Сотовий заповнювач з полімерного паперу (полімерсотопласт, ПСП-1) виготовляється з високо температуро-стійкого волокнистого армідного паперу, просоченого термореактивними сполученнями. Поєднання армідного паперу і термореактивного сполучного надає високу міцність, жорсткість і хімічну стійкість.

Області застосування:

Низька вага в поєднанні з гарною стійкістю і міцністю до впливу навколишнього середовища зумовили широке застосування ПСП-1 в тришарових конструкціях наступного призначення:

- авіація (головні обтічники, інтер'єр літака, панелі підлоги, перегородки, полиці);
- ракетно-космічна техніка (теплошумоізоляція);
- водний транспорт (корпусу гоночних яхт, катерів, оздоблення інтер'єру);
- наземний транспорт (гоночні автомобілі, кабіни кузовів автомобілів, підлоги облицювання стін і стель);
- спортивне обладнання (дошки для віндсерфінгу, гірські лижі).

На рисунку 1.2 наведено елементи літака, при виготовленні котрих використовуються сотові конструкції.

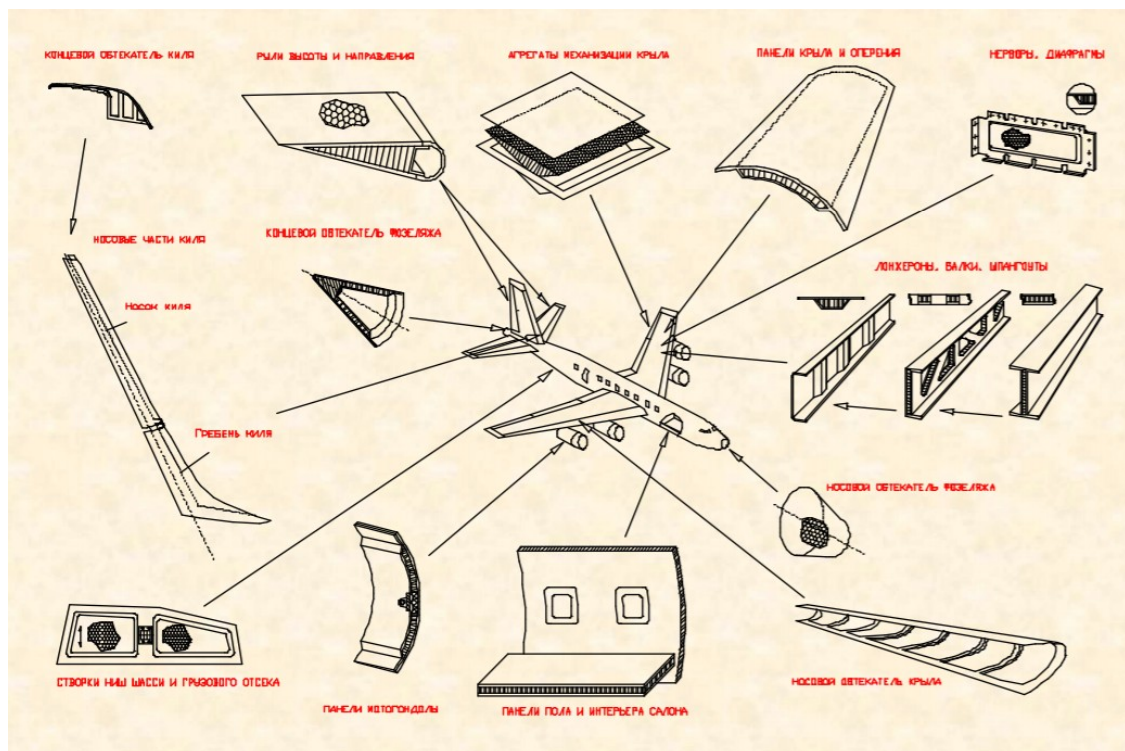


Рисунок 1.2 - Елементи літака, при виготовленні котрих використовуються сотові конструкції.

Таким чином бачимо, що дані конструкції користуються попитом. [14, с.191].

1.2 Інструментальні матеріали, що використовуються для обробки композиційних матеріалів

Особливістю композитів є, як зазначалося вище, поєднання технологічного процесу отримання матеріалу з технологічним процесом виготовлення готового виробу. Прогресивні методи, такі як намотування, пресування, лиття, екструзія, дозволяють отримувати вироби з композиційних матеріалів щодо високої точності і якості поверхні. Однак досить істотний обсяг механічної обробки завжди залишається. Оскільки мова йде тільки про високоміцні матеріали, отримані, головним чином, намотуванням і пресуванням, то необхідні операції механічної обробки розглянемо стосовно до виробів, характерним саме для цих методів формування. Це, в першу чергу, різні за розмірами оболонки, плити та вироби щодо простої форми. Для отримання остаточної форми і розмірів готових виробів необхідно застосовувати майже всі існуючі види механічної обробки.

Механічна обробка необхідна для досягнення необхідної точності і якості поверхні, отримання складних конфігурацій виробу. Це цілком виправдано, особливо при порівнянні невеликих обсягів виробництва ідентичних виробів, коли розробка і виготовлення складних форм виявляються економічно не вигідними. Вона необхідна для розрізання виробів до необхідних розмірів, а також для отримання зразків, за допомогою яких визначаються фізико-механічні характеристики готових виробів, наприклад, оболонок з композитів.

При виготовленні виробів з композиційних матеріалів застосовують такі види механічної обробки: точіння (зовнішнє і підрізування торця), свердління і розгортання, фрезерування, розрізання, шліфування і нарізання різьби.

Точіння застосовується для обробки поверхонь, що сполучаються оболонок, конічних ділянок, для проточки шийок під нарізування різі, а також для підрізання торців заготовок і необхідних канавок, наприклад, при установці ущільнюючих елементів. Точіння застосовують і для складного

ступінчатого профілю оболонки. Крім того, за допомогою токарної обробки можна отримати окремі деталі відносно невеликих розмірів з різних одиничних заготовок.

Свердління - одна з найбільш поширених операцій механічної обробки композитів. У плитах і пластинах - це свердління різних отворів під крипіжні елементи і для інших експлуатаційних цілей, в оболонках - це, головним чином, свердління більшої кількості наскрізних і глухих отворів для штифтів-болтового з'єднання оболонки з іншими елементами конструкції. При необхідності отримання отворів більш високої точності, а головним чином, більш високої якості їх поверхні, іноді застосовується розгортання [15].

Фрезерування застосовують для прорізання пазів, вирізки вікон, для отримання різного роду канавок і уступів, причому при обробці матеріалів типу скло, органо, боро- і углепластиків - фрезерування кінцевими, дисковими і шпонковими фрезами і значно рідше - торцевими і циліндричними.

Розрізання є також досить поширеним видом механічної обробки композитів. Вона необхідна, як при отриманні необхідних розмірів виробів, так і при виготовленні зразків для певних фізико-механічних характеристик композитів. При розрізанні основною вимогою є вимога до якості різку - шорсткості поверхні і мінімальної його ширини.

Шліфування при обробці композиційних матеріалів застосовують як обробна операція, головною метою якої є забезпечення якості поверхні. Звідси вимоги, що висувуються до цієї операції, це забезпечення необхідного параметра шорсткості поверхні. Основні види шліфування - зовнішнє кругле шліфування і плоске шліфування периферією круга.

Нарізування різі. У виробках з композитів нарізають кріплення різі - метричні і спеціального профілю. Нарізування метричної різі, особливо внутрішньої, виконують мітчиками. Різі спеціального профілю, як правило, прямокутного, нарізають абразивними або алмазними колами і дуже рідко різцем.

В процесі виготовлення деталей з композиційних матеріалів виявляються досить серйозні проблеми при механічній обробці. Це перш за все пов'язано із забезпеченням якості обробленої поверхні і точності розмірів. Основні дефекти поверхні композиційного матеріалу при впливі ріжучого інструменту наступні: нерівномірна шорсткість; велика хвилястість; виривання і відколи на торцях; розшарування волокна, ворсистість; тріщини і подряпини; відхилення форми і взаємного розташування поверхонь.

Обробка різанням композитів супроводжується інтенсивним через нашивання ріжучого інструменту, причому його характер відрізняється від зношування інструменту при різанні металів. Це пояснюється, в першу чергу, особливостями властивостей і структурою оброблюваних матеріалів. Відомо, що зношування інструменту при різанні матеріалів має комплексний характер, тобто абразивно-механічний, дифузійний, адгезійний, втомлюючий, хімічний, причому в залежності від умов обробки переважає той чи інший вид зношування, який і є визначальним.

Особливості властивостей композитів і їх обробки різанням визначають і особливості зношування інструменту. Так, дифузійне зношування при обробці різанням композитів відсутнє, так як для його протікання потрібні температури понад 900°C , в той час як в зоні різання при обробці композиційних матеріалів температури різання складають $500-600^{\circ}\text{C}$. Наявність полімерного сполучення і його неминуха деструкція при різанні призводять до появи в зоні різання поверхнево активних речовин (ПАР), що інтенсифікують, процес зносу [15].

Однією з найбільш часто виникаючих і в той же час найбільш трудомісткими операціями при обробці композиційних матеріалів є операція свердління. Досить зазначити, що трудомісткість свердлильних операцій на деяких виробках досягає 70-80% від загальної трудомісткості процесу механічної обробки. Природно, що в цих умовах неправильний вибір ріжучого інструменту та режимів різання призводить до значних втрат.

Свердління отворів в композитах виробляють як в напрямку армуючих волокон, так і перпендикулярно їм, причому буває свердління отворів наскрізних і глухих. У глухих отворів торець повинен бути перпендикулярний осі [15].

Інструменти зі вставками з полікристалічного алмаза (PCD) або твердосплавні свердла з алмазним напиленням спеціально розроблені для збільшення життєвого циклу інструменту, оскільки алмаз має відмінну стійкість при обробці різних типів вуглецевих волокон і пакетної обробки різноманітних матеріалів, включаючи титан. Для досягнення високої продуктивності при обробці крайок деталей з композиційних матеріалів доцільно застосовувати фрези з пластинами з полікристалічного алмаза PCD або твердого сплаву з алмазним напиленням.

Підвищення ефективності операцій свердління отворів в різних композиційних матеріалах може бути досягнуто за рахунок застосування спеціалізованих сверدل, індивідуально розроблених для кожної групи матеріалів. Кожна з геометрій цих серій сверدل враховує специфічні вимоги і особливості обробки кожного матеріалу і оптимізована за рахунок використання різних значень передніх кутів і кутів при вершині.

Застосування нових сверدل і фрез дозволяє підвищити якість механічної обробки цих важкооброблюваних матеріалів. Твердосплавні свердла з алмазним напиленням, а також зі вставками з полікристалічного алмаза ідеально підходять для отримання високоякісних отворів в композитах. Геометрія цих нових серій сверدل розроблена з урахуванням специфічних вимог і особливостей обробки кожного конкретного матеріалу. Ефективність фрезерування та обробки крайки деталей з композиційних матеріалів можна значно підвищити за рахунок застосування фрез з PCD-пластинами. Взяті разом, стандартні і спеціальні створюють сприятливі технічні можливості для свердління й фрезерування композитів в сьогоденні і майбутньому.

Вибір марки інструментального матеріалу під час свердління майже нічим не відрізняється від вибору марки матеріалу при точінні, тому

свердління отворів у склі, вугле- і органопластиках можливо свердлами з швидкорізальних сталей і твердих вольфрамо-кобальтових сплавів. При свердлінні боропластиків застосування швидкоріжучих сталей через велику твердість армуючих борних волокон недопустимо, а застосування твердосплавних свердл виправдано лише при свердлінні одиничних отворів.

1.3 Геометрія свердл

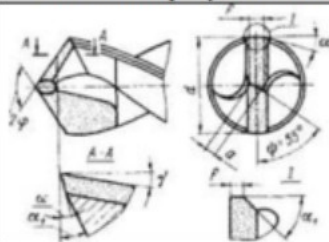
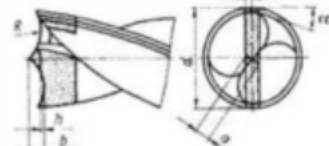
Геометричні параметри свердл дуже впливають на точність і якість обробленої поверхні, стійкість і міцність інструменту, складові зусилля різання і деформацію, тому вибір їх оптимальних величин має велике практичне значення.

У таблицях 1.1 та 1.2 наведено рекомендовані форми заточування ріжучої частини і конструкції свердл з швидкоріжучих сталей і з твердих сплавів.

Таблиця 1.1 – Рекомендовані форми заточування ріжучої частини та конструкції свердл з швидкоріжучої сталі.

Форма режущей части	Эскиз заточки режущей части	Рекомендации по применению
Спиральная с нормальной заточкой		Стекло- и углепластик
Спиральная с подрезающими режущими кромками		Стекло- и углепластик, глухие отверстия

Таблиця 1.2 – Рекомендовані форми заточування ріжучої частини та конструкції свердл з твердих сплавів.

Форма режущей части	Эскиз заточки режущей части	Рекомендации по применению
Спиральная с нормальной заточкой		Стекло- и угле- и боропластик
Спиральная с подрезающими режущими кромками		Стекло- и угле- и боропластик, глухие отверстия

Підвищення продуктивності та якості свердління композитів можливо шляхом застосування алмазного свердління. На відміну від традиційних матеріалів, композити мають всі специфічні особливості, властиві як армуючим волокнам, так і полімерній матриці. З точки зору механічної обробки, вплив зв'язуючого впливає, в першу чергу, на обмеження інтенсивності обробки по температурі в зоні різання. З цієї точки зору найкращим інструментальним матеріалом є алмаз. Володіючи найвищою твердістю, алмаз має коефіцієнт тертя по пластмасі значно менший, а коефіцієнт теплопровідності більший, ніж у твердих сплавів. Алмазне свердління підвищує продуктивність праці, зменшує витрату різального інструменту і покращує якість обробленої поверхні.

На відміну від металів, ПКМ на полімерній матриці мають низьку теплопровідність і теплостійкість. При температурах $> (300-350)^\circ \text{C}$ починається термодеструкція зв'язуючого. Це призводить до різкого погіршення якості обробленої поверхні, появи прижогов і оплавлень в дефектному граничному шарі (рис.1.3).

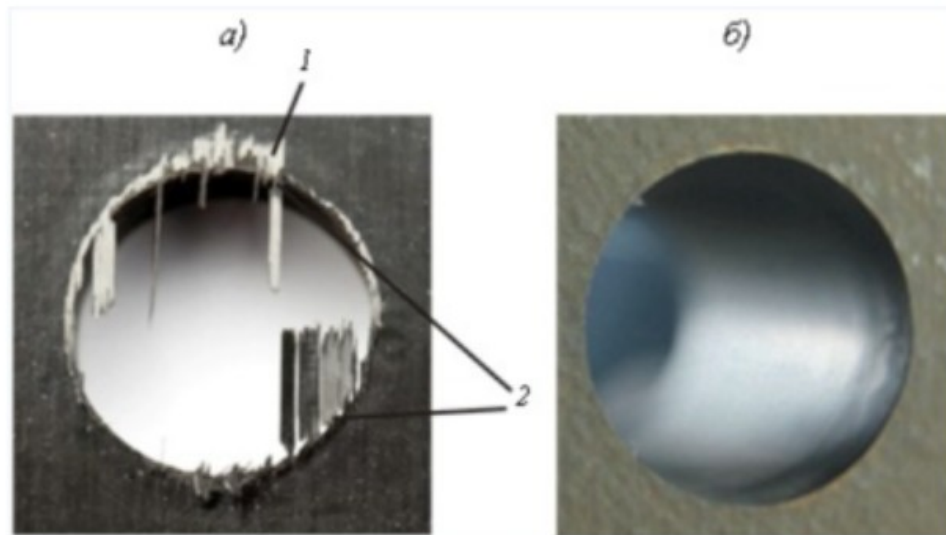


Рисунок 1.3 – Не якісне (а) та якісне (б) отвори в вуглепластику

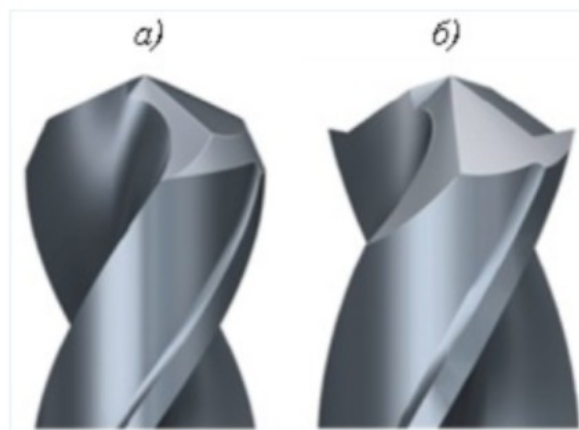


Рисунок 1.4 – Свердла для ПКМ з двойною заточкою (а) і з підрізнаними кромками (б)

Для зменшення розшарування на вході отвори використовують свердла з подвійною заточуванням, а для усунення непрорізаних волокон - свердла з гострими крайками на периферії (рис. 1.4). Для того щоб уникнути розшарування, іноді доводиться використовувати кондуктори, що притискаються до поверхні із зусиллям, достатнім для запобігання розшаровування. Свердління зазвичай здійснюють зі швидкостями різання

100-200 м / хв при низьких величинах подачі в діапазоні 0,02-0,1 мм / об [16]. На вході і виході свердла для виключення розшаровування знижують зусилля і величину подачі на оберт.

1.4 Призначення режимів різання при обробці композиційних матеріалів

Різноманітність полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) - углепластиків, склопластиків, органопластиків, які використовуються в проєктованих конструкціях, вимагає особливого підходу при виборі технологій переробки, інструментів, конструкцій оснащення і способів контролю якості готових виробів. Вирішення цих завдань можливе при висококваліфікованій підготовці (згідно вимогам часу) фахівців з матеріалознавства і технологій, програмістів, конструкторів, розраховувачів, інженерів по експлуатації і ремонту. При проєктуванні деталей і вузлів з ПКМ необхідно враховувати як можливості існуючого виробництва, так і створення нових виробничих спеціалізованих ділянок під конкретні технологічні вимоги для освоєння і впровадження нових розробок - можливо, з невеликим резервом по перспективам розвитку і впровадження конструкцій з ПКМ [17].

Для ПКМ необхідно застосовувати свої спеціальні режими різання, особливо при обробці металокомпозитних пакетів з урахуванням розташування шарів матеріалів в залежності від напрямку обробки.

Підвищення продуктивності:

- Підвищені подача і швидкість різання збільшать продуктивність, але більш важливим фактором є якість отворів;
- Низька якість отворів призводить до необхідності повторної обробки;
- Дорогий і трудомісткий процес;
- Покращення якості отворів і скорочення додаткових операцій дозволить значно підвищити продуктивність;

- Скорочення циклу обробки отворів;
- Виняток додаткових операцій скоротить число необхідного обладнання;
- Дорогі деталі вимагають забезпечення високої надійності процесу обробки.

Стратегії обробки

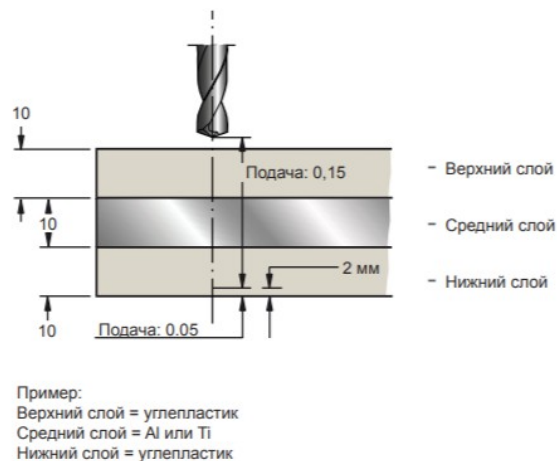


Рисунок 1.5 – Приклад стратегії обробки

- Углепластик (CFRP) - Якість необхідно перевіряти і на вході, і на виході отвору: може знадобитися зміна режимів різання. Якість на виході важче забезпечити через великі сили різання.
- Пакети «углепластик / метал» - Швидкість різання при обробці металевих шарів, наприклад титану, повинна бути нижче, ніж при обробці углепластика. Найбільш підходящі режими різання для металів можуть виявитися занадто низькими для забезпечення продуктивної обробки композиту. Тому переважно коригувати режими різання в процесі обробки.

Діапазон режимів різання:

- Швидкість різання: 60-120 м / хв.;
- Подача: 0,02-0,15 мм / об;
- Покриття з полікристалічного алмаза (PCD) дозволяє підвищувати подачу, а в деяких випадках і швидкість різання;

- При використанні геометрій з позитивними кутами необхідно уникати високих подач ($> 0,1$ мм / об);
- Низькі подачі знижують деламінація, особливо на виході отвору;
- Висока швидкість різання може призвести до плавлення руйнування смол (особливо термопластичних);
- Свердла з алмазним покриттям і вставками з PCD мають більш високу теплопровідність, що зменшує діапазон відхилення розмірів оброблених отворів;

Швидкість різання. Оскільки основною причиною проблеми забезпечення необхідної якості поверхневого шару волокнистого композиту при різанні є його руйнування на поверхні розділу структурних компонентів і деструкція полімерних складових, необхідно при виборі швидкості різання намагатися забезпечити такі фізичні умови:

- підвищення крихкості руйнування, зниження роботи пластичної деформації і отже зниження енерговитрат на різання;
- підвищення питомої енергії різання;
- досягнення граничної швидкості за критичного зростання тріщин при руйнуванні;
- зменшення нормальних напружень в площині перпендикулярної обробленої поверхні;
- зниження температури різання.

Оскільки фізико-механічні властивості полімерних матеріалів змінюються зі зміною швидкості їх деформування, стає можливим керувати цими властивостями за рахунок зміни швидкості різання.

Підвищення крихкості руйнування можна досягти за рахунок збільшення відносини роботи пружної деформації до роботи поширення тріщин. Забезпечити це можна збільшенням швидкості деформування композиту за рахунок збільшення швидкості різання. При цьому знижується ударна в'язкість композиту і енергія руйнування (отже, температура різання).

Крім того, при підвищенні крихкості руйнування зменшується фактична площа контакту по задній поверхні, а, отже, і температура різання.

Збільшення швидкості різання приводить до збільшення швидкості поширення тріщин в композиті (швидкості деформації і руйнування) і зниження роботи пластичної деформації. Гранична швидкість за критичного зростання тріщин є максимально можливою для кожного конкретного композиту і не залежить від рівня зовнішніх навантажень, а визначається тільки структурою матеріалу. Таким чином, для досягнення цієї швидкості для кожного конкретного композиту необхідно визначити відповідну швидкість.

Як показали теоретичні і експериментальні дослідження збільшенні швидкості різання (за інших раціональних умов різання), можна істотно зменшити глибину дефектного поверхневого шару до рівня < 50 мкм, при цьому глибина тріщин уздовж поверхонь розділу поширюється на більш ніж на 10-20 мкм [17].

При збільшенні швидкості різання необхідно забезпечувати таку хвилинну подачу, при якій в разі нагрівання інструменту, через який відводиться $\sim 90\%$ тепла при різанні, вище теплостійкості композиту, швидкість відносного руху інструмента як теплового джерела при хвилинної подачі була достатньою, щоб уникнути термодеструкції полімеру (зменшувати час контактування теплового джерела з мікро - об'ємах композиту).

При зниженні вимог до якості швидкість різання може знижуватися для підвищення стійкості інструментів.

Істотна відмінність у величинах раціональних швидкостей різання для фрезерування, з одного боку, і свердління, точіння, з іншого боку, визначається більш високою тепло - напруженість останніх через безперервне контактування інструменту з оброблюваним матеріалом. Очевидно, необхідний пошук альтернативних видів обробки циліндричних поверхонь і отворів.

Подача. Вибір значень подачі при механічній обробці композиційних матеріалів визначається в першу чергу забезпеченням оптимальних силових і енергетичних характеристик процесу різання.

Подача з усіх складових режиму різання надає найбільший вплив на напружений стан в околицях зони різання. Зі збільшенням подачі зростає товщина зрізу і відповідно сила різання, особливо її тангенціальна складова - P_z , що призводить до зростання напруги σ_z , аж до досягнення межі міцності композиту на стиск і межі адгезійної міцності на розрив. Це призводить до складного руйнування, поєднанню руйнування зсуву з відривом. Адгезійний зв'язок в композиті порушується і під дією σ_y і під дією σ_z , при цьому спостерігається витягування волокон з матриці.

При цьому істотно знижується якість обробленої поверхні поверхневого шару в цілому. Зменшення подачі (товщини зрізу) при постійній ширині сприяє зменшенню енерговитрат та збільшення питомої енергії різання. Малі товщини зрізу забезпечують ефект взаємодії відбитих хвиль і збільшення числа мікро тріщин в зоні навантаження, при цьому зона руйнування матеріалу знаходиться в плоско – напруженому стані. Це сприяє зменшенню значення динамічного коефіцієнта інтенсивності напружень старту тріщин і зниження роботи різання. Збільшення питомої енергії різання зі зменшенням подачі відбувається за рахунок зменшення перетину зрізу. Збільшення питомої енергії різання, змінюючи реологічні властивості композитів, сприяє зміні умов релаксації напружень, мінімізуючи впливу механічного фактора на процес руйнування композиту по поверхні розділу, що супроводжується зменшенням глибини дефектного шару, ворсистості і шорсткості обробленої поверхні. Збільшення питомої енергії сприяє так само підвищенню крихкості руйнування, зниження роботи пластичної деформації і температури різання, що знижує вплив теплового і хімічного фактора на процес руйнування по поверхні розділу, таким чином зменшуючи ступінь деструкції полімерних складових композиту.

Зниження енерговитрат при різанні забезпечує зменшення механічної і теплової напруженості процесу різання, створюючи передумови для забезпечення необхідної якості поверхневого шару.

Таким чином, з метою забезпечення максимальної якості поверхневого шару необхідно прагнути до мінімально можливим значенням подачі. Однак існує нижнє обмеження величини подачі, яке визначається, як уже було сказано вище, часом контактування інструменту, як джерела тепла з мікрообсягу композиту. Оскільки при різанні композитів, як уже було сказано, відводиться до 90% теплоти через інструмент, він може нагріватися до значних температур, що перевищують теплостійкість композиту. При цьому відбувається теплообмін між інструментом і оброблюваним матеріалом. При цьому через низьку теплопровідність композиту і високого градієнта, перепаду температур тепло-напружених зона локалізується поблизу зони контакту. При цьому температура нагріву оброблюваного матеріалу від інструменту буде прямо пропорційна щільності теплового потоку, обернено пропорційна коефіцієнту акумуляції тепла і буде підвищуватися з плином часу пропорційно кореню квадратному від часу нагріву [5]:

$$\theta(o, \tau) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{q_e}{\varepsilon} \sqrt{\tau}, \quad (1.1)$$

де, q_e – щільність теплового потоку;

ε – коефіцієнт акумуляції тепла;

$$\varepsilon = \sqrt{\lambda C_v}, \quad (1.2)$$

де, λ – коефіцієнт теплопровідності;

C_v – удільна об'ємна теплоємність.

τ – час нарізу.

$$\tau = hz / S_m, \quad (1.3)$$

Таким чином, при незмінній величині щільності теплового потоку, знаючи величину зносу інструменту, можна визначити мінімально допустиму величину хвилинної подачі, при якій не досягається перевищення теплостійкості оброблюваного матеріалу. Характер залежності температури від часу нагріву наведено на Рис. 1.4.1. Рекомендовані діапазони подач, що забезпечують максимальну якість поверхневого шару, наведені в таблиці 1.4.1.

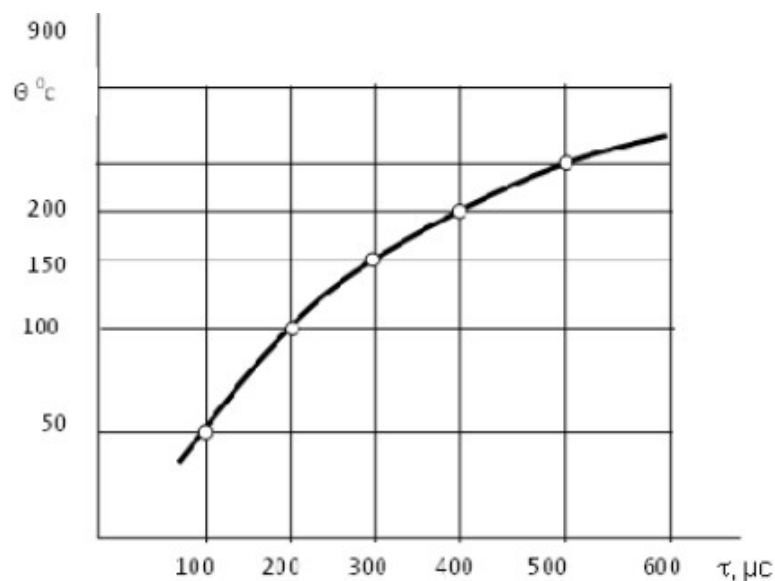


Рисунок 1.6 – Характер залежності температури нагріву від оброблюваного матеріалу від часу нагріву

Таблиця 1.3 – Раціональні значення подач при різанні композитів

Вид обработки Обрабатываемый материал	Вид обработки		
	Фрезерование, мм/зуб	Точение, мм/об	Сверление, мм/об
Стеклопластик	0,1–0,15	0,1–0,5	0,1–0,3
Стеклоорганопластик	0,05–0,1	0,1–0,3	0,1–0,3
Углеорганопластик	0,15–0,1	0,1–0,3	0,1–0,3
Органопластик	0,03–0,05	0,1–0,3	0,1–0,2

Глибина різання. Глибина різання впливає на складові сили різання майже прямо пропорційно (так як питома робота деформації і питома робота

тертя не змінюються), що визначає в якості обмежувального фактору при її виборі граничні значення напружень на поверхнях структурних компонентів і відповідних складових сил різання. Для полімерів, армованих мінеральними волокнами (скляними, вуглецевими), граничні значення сили тертя по задній поверхні - F_{α} - не повинні перевищувати 70-120 Н при нормальній силі на задній поверхні - не більше 150 Н. При цьому сила тертя по передній поверхні повинна знаходитися в межах 25-50 Н. Утримання фізичних складових сили різання в зазначених діапазонах дозволяє мінімізувати руйнування композиту по поверхні розділу і зменшити ступінь термодеструкції. Для полімерів, армованих органічними волокнами, фізичні складові сили різання на задній поверхні не повинні перевищувати 100 Н, при цьому сила тертя по передній поверхні повинні знаходитися в діапазоні 15-30 Н. Глибина різання для точіння і фрезерування, виходячи з припуску на обробку та необхідного якості обробки, як правило, знаходиться в діапазоні 1-5 мм.

Режими різання різних волокнистих композитів та наведені рекомендовані глибини різання в поєднанні зі швидкістю різання подачі і геометричними параметрами ріжучої частини лімітуються граничними руйнують напруженнями уздовж поверхонь розділу структурних компонентів композиту.

Передній кут γ . Проведені дослідження підтвердили, що передній кут в області позитивних значень не робить істотного впливу ні на один з досліджуваних вихідних параметрів якості обробки, тому при виборі його значення необхідно керуватися, перш за все, необхідністю забезпечення максимального кута загострення для забезпечення найкращих умов тепловідводу і збереження міцності ріжучого клина. Для різців і фрез значення цього кута необхідно вибрати в діапазоні 0-5°. Зменшення переднього кута до області негативних значень призводить до зростання радіальної складової сили різання з відповідним поліпшенням якісних характеристик обробки. У більшості випадків, особливо для малорозмірних інструментів, рекомендується

приймати передній кут рівним 0° , що крім інших переваг підвищує технологічність виготовлення.

Задній кут α . Лімітуючим фактором, що визначає величину заднього кута, є величини напруг і температури різання виникають під дією сил на задній поверхні інструменту. Вплив заднього кута визначається перш за все пружним наслідком (відновленням) оброблюваного матеріалу [4], причому зі зміною величини заднього кута більш інтенсивно змінюються радіальна складова за рахунок зміни нормальної сили на задній поверхні (збільшення фактичної площі контакту по задній поверхні). Це призводить до зростання напруги і збільшення глибини тріщин розшарування вздовж волокна.

Збільшення заднього кута забезпечує зниження енерговитрат при різанні за рахунок зменшення сил на задній поверхні, однак одночасно з цим погіршуються умови тепловідведення через зменшення кута загострення. Оптимальні значення задніх кутів в залежності від оброблюваного матеріалу і виду обробки знаходяться в діапазоні $18-30^\circ$.

Кут нахилу головної різальної кромки. Поліпшення якісних характеристик процесу різання при збільшенні кута нахилу головної різальної кромки досягається за рахунок зниження енерговитрат різання, зменшення макро- і мікро-викришування ріжучої кромки, забезпечення оптимальних кінематичних умов зрізу, що мінімізують руйнування по поверхні розділу структурних компонентів композиту. Ефективність збільшення кута нахилу головної різальної кромки збільшується зі зменшенням товщини зрізу і збільшення об'ємної частки органічних волокон в композиті.

Головний кут в плані. Вибір головного кута в плані зумовлюється видом напружено деформованого стану композиту. Зі збільшенням головного кута в плані зменшується відношення ширини до товщині зрізу, що призводить до зменшення складової сили - P_z .

Величина зносу інструменту і радіус округлення різальної крайки.

Лімітуючим фактором, що визначає критерій затуплення ріжучих інструментів з обробки волокнистих полімерних композитів, є стан

поверхневого шару після механічної обробки. Збільшення площі зносу по задній поверхні призводить до зростання фактичної площі контакту з оброблюваним матеріалом, зростання сил на задній поверхні і відповідно роботи тертя на задній поверхні і енерговитрат різання. Зі збільшенням радіуса округлення різальної крайки зменшується питома енергія різання за рахунок збільшення площі контакту ріжучої кромки і при кромкової ділянки передньої поверхні з оброблюваним матеріалом при незмінній величині роботи деформування. Таким чином, збільшення зносу інструментів погіршує енергетичні характеристики процесу різання, що призводить до погіршення якісних показників механічної обробки. Лімітуючим фактором для полімерів, армованих мінеральними волокнами, є величина зносу на задній поверхні, яка визначає гранично допустимі силу і роботу тертя по задній поверхні, при яких ступінь деформації полімерного сполучного і глибини поширення тріщин по поверхні розділу досягають граничних значень; для композитів, до складу армуючих елементів яких входять органічні волокна, лімітуючим фактором є гранична величина радіуса округлення різальної кромки, яка визначає мінімально допустиму питому енергію різання, нижче якої не відбувається перерізання органічних волокон в площині різання [17]. Оскільки величина радіуса округлення різальної кромки і величина зносу на задній поверхні пов'язано між собою простою залежністю [4]:

$$\rho = \rho_o + k h_3, \quad (1.4)$$

де, ρ_o – початковий радіус скруглення ріжучої кромки після заточування;
 k – коефіцієнт, що залежить від інструментального матеріалу і виду обробки. Знаходиться у діапазоні 0,15 – 0,35.

Гранично допустимий радіус округлення різальної крайки виражати через гранично допустиму величину площі зносу по задній поверхні. Рекомендації по їх вибору наведені в таблиці 1.4.

Таблица 1.4 – Рекомендовані критерії затуплення інструментів для різних видів обробки і оброблюваних матеріалів (мм)

Вид обработки Обрабатываемый материал	Цилиндрическое фрезерование	Сверление
Стеклопластик	0,25	0,2
Стеклоорганопластик	0,15	0,12
Углеорганопластик	0,12	0,12
Органопластик	0,1	0,1
*Рекомендации приведены для инструментов, приготовленных из сплава ВК8		

Найбільший вплив на якість поверхневого шару, обробленого різанням композиту, надають ті умови різання, які мають найбільший вплив на енергетичні характеристики процесу різання: швидкість різання і радіус округлення різальної крайки за рахунок впливу на питому енергію різання, параметри зрізу і знос за рахунок впливу на енерговитрати процесу різання, а їх спільні дії визначає умова і ступінь руйнування по поверхнях розділу структурних компонентів.

2 АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА НАДІЙНІСТЬ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ. ОПТИМІЗАЦІЯ ЇХ КОНСТРУКЦІЇ

2.1 Актуальність та аналіз методів оптимізації шпиндельних вузлів

Вузол шпинделя є одним з найбільш важливих вузлів металорізального верстата, саме він переважно визначає основні показники роботи, і багато в чому саме від його стану залежить міжремонтний період. Основними вимогами, що пред'являються до сучасних шпиндельних вузлів, є висока точність, статична жорсткість, швидкохідність, здатність навантаження, надійність, стійка динаміка, малі динамічні, статичні і температурні зміщення. Точність обертання шпиндельного вузла впливає на основні показники якості виготовлених деталей, а саме точність форми і розташування поверхонь відносно один одного, шорсткість і хвилястість. В умовах будь-якого сучасного виробництва важливо, щоб шпиндельний вузол механообробного верстата знаходився в працездатному стані якомога довше, працював без поломок і збоїв, технічне обслуговування проводилося своєчасно, і в ідеальному випадку напрацювання на відмову шпиндельного вузла дорівнювала б його ресурсу.

Більш високі швидкості різання досягаються як створенням нових інструментальних матеріалів твердих сплавів, кераміки та ін., Так і підвищенням стійкості динамічної системи верстатів, використанням спеціальних швидкохідних підшипників і схем компонувань [6]. Високошвидкісна обробка отримала новий імпульс застосування в зв'язку з відкриттям зон низьких сил різання (HSC) і необхідності обробки складних деталей аерокосмічної техніки з цільного шматка металу. Поряд з підвищенням продуктивності при високошвидкісній обробці знижуються сили різання, нагрівання оброблюваної деталі шорсткість, наклеп, збільшується стійкість інструменту [7]. Основний тип шпиндельних вузлів сучасних

багатоцільових верстатів багато-опорні шпиндельні вузли. Вони так само застосовуються в шліфувальних розточувальних, токарних верстатах.

Актуальним питанням на виробництві є моніторинг стану основних виконавчих частин металорізального обладнання, за допомогою сучасних методів діагностики і також на основі отриманих даних, прогнозування своєчасного технічного обслуговування та оцінка залишкового ресурсу шпиндельних вузлів верстатів.

Розширилася гамма підшипників кочення для шпиндельних вузлів. При проектуванні вузла необхідно враховувати: число підшипників в опорі, їх тип, висоту проставочних кілець між ними та ін. Точність шпиндельних вузлів визначається силовою, розмірною і тепловою характеристиками [6].

Жорсткість шпиндельних вузлів впливає на резонансні явища, що виникають при роботі верстата [8], стійкість динамічної системи верстата, граничну величину, що зрізується. Чим вище жорсткість шпиндельних вузлів, тим вище частота власних коливань, тим вище критична швидкість обертання шпинделя. Жорсткість визначає допустимі режими різання і продуктивність обробки.

Жорсткість одна з основних характеристик, що безпосередньо впливає на точність і продуктивність обробки на верстаті, є критерієм визначальним для конструкції вузла і верстата в цілому [6].

У сучасних ринкових умовах зі зростаючою конкуренцією необхідно скорочувати терміни і витрати на розробку і освоєння випуску нових моделей верстатів, підвищувати їх якість. Емпіричний шлях вдосконалення конструкції вимагає істотних матеріальних і тимчасових витрат. Практично неможливо в цьому випадку виділити вплив на якість верстата якого-небудь одного з факторів. Для вирішення цих завдань необхідно вже на стадії проектування верстата проводити розрахунок його основних параметрів на основі фізично обґрунтованих методів розрахунку.

Питаннями розрахунку шпиндельних вузлів займалися багато дослідників в т.ч. Б.Г. Попович, Д.Н. Решетов, Н.С. Ачеркан, П.М.

Чернянский, В.С. Хомяков, Н.А. Кочине, Ф.С. Сабіров, І.А. Зверєв, В.А. Лизогуб, С. Янг, л Шоос, В. Хвала, С. Тейлор, Ю. Амінтас, Ю. Као, Я. Шин та ін. Велика увага вивченню цих питань приділяли фірми ENIMC, SKF, FAG і ін.

Основна складність при проектуванні шпиндельних вузлів необхідність забезпечувати високу жорсткість при високих швидкостях обертання шпинделя. Підвищення жорсткості вузла за рахунок збільшення діаметра шпинделя призводить до збільшення тепловиділення в опорах і зниження швидкохідності. Історично завдання розрахунку шпиндельних вузлів зводилася до розрахунку балки на двох пружних опорах [9]. Ця модель не підходить для розрахунку багато опорних шпиндельних вузлів. Опору з декількох підшипників можна вважати точковою. Двух-опорну модель не дозволяє безпосередньо врахувати вплив числа, типу підшипників, висоти проставочних кілець на жорсткість вузла, визначити навантаження на кожен підшипник опори. Приведення розрахунку багато-опорних шпиндельних вузлів до двух-опорної моделі за рахунок введення в розрахунок емпіричних коефіцієнтів [10, 11] не виправдовує себе.

Схема компоновання шпиндельного вузла визначається типом розташуванням і числом підшипників в опорах шпинделя. З її вибору починається проектування вузла. Вибір схеми компоновання повинен забезпечити задані головні функціональні якості верстата його точність і продуктивність. Вони залежать як від конструкції вузла в цілому, так і від жорсткості, швидкохідності і точності опор шпинделя. Знання характеристик підшипників кочення дозволяє переходити до обґрунтування схем компоновання шпиндельних вузлів для різноманітних умов роботи верстатів. Як опори в шпиндельних вузлах на підшипниках кочення найчастіше використовуються циліндрові роликopідшипники, упорно-радіальні і радіально-упорні шарикopідшипники. Основні їх характеристики: кут контакту, швидкохідні, осьова і радіальна жорсткість, радіальне биття внутрішнього кільця.

2.2 Конструкція та компонування мотор – шпинделів для високошвидкісної обробки

Високошвидкісний шпиндель, який використовується в складі металорізального верстата, повинен забезпечувати ряд технічних вимог, до яких в першу чергу відносяться:

1. Висока пікова потужність і потужність постійного дії
2. Максимальна радіальна і осьова жорсткість
3. Максимальна швидкість обертання
4. Відповідна вимогам високошвидкісної обробки (ВСО) система кріплення інструменту, часто з можливістю автоматичної зміни інструменту.

Для кожного конкретного практичного застосування повинен бути проведений вибір між шпинделем з ремінною передачею і мотор-шпинделем.

Ці вимоги важко поєднати в одному дизайні. Деякі вимоги суперечать один одному, так що в ряді випадків необхідно йти на компроміси з тим, щоб сконструювати шпиндель, що найбільш задовольняє заданим технічним характеристикам [18].

Верстат зі свого боку висуває вимоги до шпинделя. Розміри робочого простору, фактор вартості, складність і вимоги ринку також визначають вибір шпинделя. Вартість грає визначальну роль. Ніхто не буде вбудовувати складний багатофункціональний шпиндель в простий верстат, де вартість шпинделя порівнянна з вартістю самого верстата. Такий шпиндель підходить для складного верстата з високими вимогами по точності і продуктивності.

Основні питання при конструюванні високошвидкісного шпинделя:

1. Тип шпинделя: з пасовою передачею або мотор - шпиндель з вбудованим мотором;
2. Підшипники шпинделя: тип, кількість, конфігурація, вид мастила;
3. Мотор: з пасовою передачею, мотор - шпиндель, потужність, розміри;
4. Система затиску інструменту і інструментальні оправки;
5. Корпус шпинделя: розміри, вид монтажу.

Тип шпинделя: з пасовою передачею або з вбудованим мотором

Перше рішення, яке повинно бути прийнято: який шпиндель необхідний - з пасовою передачею або з вбудованим мотором (мотор - шпиндель). Це визначається вимогами до верстата - необхідною швидкістю обертання, потужністю і жорсткістю. Вартість також є важливим чинником.

Шпиндель з пасовою передачею має принципово меншу вартість, ніж мотор - шпиндель.

Високошвидкісний шпиндель з ремінною передачею аналогічний звичайному шпинделю з ремінною передачею. Типовий шпиндель з ремінною передачею включає в себе встановлений в корпус шпиндельний вал на підшипникових опорах. Він забезпечений системами затиску і розтиску інструменту, причому механізм розтиску інструменту в більшості випадків монтується ззовні.

Потужність і обертання передаються шпинделю від зовнішнього мотора, який встановлюється в безпосередній близькості від шпинделя. Момент передається до шпинделя за допомогою пасової передачі. Потужність, момент і швидкість шпинделя визначаються характеристиками мотора і передаточним відношенням пасової передачі [18].

Принципові переваги шпинделя з ремінною передачею полягають в наступному:

1. Порівняно низька вартість: шпиндель складається з декількох базових компонентів, і його вартість порівняно низька в порівнянні з альтернативними рішеннями.

2. Широкий діапазон технічних даних: так як потужність, момент і швидкість шпинделя визначаються характеристиками мотора, кінцева специфікація шпинделя може бути змінена за рахунок вибору іншого мотора або іншого передаточного відношення. У деяких випадків для збільшення швидкості обертання використовують зубчасті передачі.

3. Висока потужність і момент: мотор розташовується поза шпинделя. Отже, тут можна використовувати мотор дуже великого діаметру, що забезпечить високий момент і потужність.

Однак слід зазначити обмеження шпинделів з ремінною передачею, особливо істотних при високошвидкісній обробці:

1. Обмеження максимальної швидкості: Шпиндель з ремінною передачею обмежений по швидкості внаслідок наступних чинників. Механічні з'єднання, ремінь і система шківів мають обмежену швидкість. Якщо використовується клинопасова передача, висока швидкість обертання шківів призводить до розтягування і ременів, що обмежує передачу крутного моменту. Клиновидні ремені виключають цю проблему, зате на високих швидкостях при їх використанні виникає неприпустимий рівень вібрацій. Зубчасті зачеплення мають також низьку максимальну швидкість, схильні до вібрацій і до підвищеного нагрівання при високих швидкостях.

2. Ремінна передача знижує здатність навантаження підшипників: передача моменту у розглянутих шпинделів передається за допомогою ремня і системи шківів. Натяг ремня створює постійну радіальне навантаження на задні підшипники шпинделя. Зі збільшенням потужності і швидкості шпинделя необхідний натяг і, відповідно, радіальне навантаження на підшипники також зростає і тим самим вичерпує радіальну навантажувальну здатність підшипників. Установка підшипників більшого діаметра або додаткового набору підшипників проблеми не вирішує. Тому, що ці заходи в свою чергу знижують максимально можливу швидкість обертання шпинделя.

Застосування шпинделів з ремінною передачею для високошвидкісної обробки можливо для ряду практичних завдань, де необхідна швидкість обертання шпинделя не перевищує 12 000 - 15 000 об / хв.

Шпиндель з вбудованим мотором (мотор-шпиндель, електрошпиндель).

Мотор інтегрований в корпус шпинделя і забезпечує можливість високих швидкостей обертання без обмежень, обумовлених ремінними і зубчастими передачами.

Мотор - шпиндель складається з встановленого на підшипниках шпиндельного вала, двигуна і системи затиску інструменту. Мастило підшипників перманентна на весь термін служби або повітряно-масляна.

Повітряно-масляна мастило дозволяє досягти більш високі - на 20% і вище швидкості обертання.

Потужність електро - шпинделя визначається потужністю мотора. Вибір шпинделя для конкретного додатка визначається вимогами верстата. В кінцевому підсумку повинен бути зроблений вибір оптимальної комбінації швидкості обертання, потужності, жорсткості і здатності навантаження.

2.3 Аналіз опор у шпинделях для швидкісного різання

В якості опор в шпинделях використовують підшипники кочення і ковзання. Найчастіше шпинделі встановлюють на дві опори. Одним з найбільш критичних компонентів будь-якого високошвидкісного шпинделя є система підшипників. Шпиндель повинен володіти високими швидкостями обертання, передавати необхідні крутний момент і потужність до інструменту, мати хорошу здатність навантаження і тривалий термін служби. Підшипники повинні забезпечувати всі ці вимоги.

Багато світових виробники пропонують високоточні підшипники для високошвидкісної обробки (ВСО). Типи підшипників - роликові, роликові - конічні, кулькові підшипники з кутовим контактом. Вибір підшипників визначається багатьма факторами. Шпиндель, призначений для роботи з максимально можливою швидкістю обертання, не може мати високої жорсткості, шпиндель з високою жорсткістю не може обертатися на високих оборотах без різкого зменшення терміну служби підшипників. Таким чином, виробник шпинделя зобов'язаний вибрати найкраще компромісне рішення.

Далі розглянемо більш детально радіально-упорні підшипники й роликопідшипники.

Радіально-упорні підшипники найбільш часто використовуються в складі високошвидкісних шпинделів з високими швидкостями обертання через те, що вони забезпечують високу точність, навантажувальну здатність і швидкість для обробки металів. У деяких випадках використовуються роликopідшипники внаслідок їх більш високої здатності навантаження і жорсткості. Однак вони не забезпечують необхідну швидкість обертання.

Радіально-упорні підшипники складаються з безлічі прецизійних кульок, вбудованих в сталеві прецизійні кільця. Вони володіють радіальною і осьовою здатністю навантаження [20].

Важливим критерієм вибору підшипників є максимальна швидкість підшипника або досяжна швидкість обертання шпинделя. Це визначається типом підшипника, методом мастила, преднатягом, навантаженням. На практиці, основним вихідним пунктом є умовна величина dN , яка розраховується шляхом множення середнього діаметра підшипника, вимірюваного в мм, на швидкість обертання, яка вимірюється в об / хв. Для високошвидкісних шпинделів з кульковими підшипниками dN досягає 1,500,000.

Одним з основних параметрів специфікації радіально-упорних підшипників є кут контакту. Кут контакту визначається як кут між лінією, що з'єднує точки контакту кульки і каналів в радіальній площині, у напрямку переданої від одного до іншого навантаження, перпендикулярній осі підшипника. Осьова навантаження радіально-упорних шарико-підшипників збільшується зі збільшенням кута контакту. Зазвичай кут контакту становить 12° , 15° або 25° . Кут 25° вибирають, якщо шпиндель призначений в основному для свердління, 15° - для фрезерування.

Для радіально-упорних підшипників можлива різна величина переднавантаження: легка, середня і важка. Легко переднавантаження - підшипники призначені для роботи на дуже високих швидкостях і мають меншу жорсткість. Важке переднавантаження забезпечує меншу швидкість, але максимальну жорсткість.

З метою забезпечити необхідну навантажувальну здатність шпинделя, призначеного для роботи з високою швидкістю обертання, групи по 2-3 підшипника в кожній групі встановлюють в різних конфігураціях. Це дозволяє розподілити навантаження і збільшити загальну жорсткість шпинделя [20].

Підшипники кочення застосовують в різноманітних умовах: при негативних і позитивних температурах; в нейтральних і агресивних середовищах (морська вода, кислоти). У зв'язку з цим деталі підшипників виготовляють з різних матеріалів.

Матеріали, з яких виготовлений підшипник визначають робочі характеристики і надійність підшипників кочення. Твердість матеріалу кілець підшипника необхідна для забезпечення вантажопідйомності підшипника, втомної міцності в зоні контакту кочення, а також стабільності розмірів деталей підшипників. Для матеріалу сепаратора також існують вимоги щодо тертя, міцності, сили інерції. Корозія, підвищені температури, ударні навантаження і поєднання цих умов також можуть впливати на загальні вимоги до матеріалів кілець підшипника, тіл кочення і сепаратора. Наприклад, якщо існує ризик електричного пробоя в місці установки підшипника, то можливий вибір підшипника з керамічними тілами кочення і сталевими кільцями або повністю керамічного підшипника. Також можливий (але рідко зустрічається) варіант з покриттям стандартного підшипника спеціальними полімерними речовинами для забезпечення корозійної стійкості або електричної ізоляції. Найпоширеніша сталь об'ємного гартування - це хроміста сталь, що містить приблизно 1% вуглецю і 1,5% хрому. Їх використовують в разі посадки з великим натягом і при важких ударних навантаженнях. Найбільш поширеним типом нержавіючих сталей, використовуваних для виготовлення кілець і тіл кочення підшипників, є сталі з високим вмістом хрому марки X65Cr14 відповідно до стандарту ISO 683-17: 1999 і марки X105CrMo17 за стандартом EN 10088-1: 1995. Існують також екзотичні жароміцні, високолеговані сталі типу 80MoCrV42-16 за стандартом ISO 683-

17: тисяча дев'ятсот дев'яносто дев'ять для підшипників тривалий час працюють при температурах понад 250 градусів.

Найбільш рідкою була і є кераміка в підшипниках, будь то тіла кочення або кільця підшипника. Найчастіше застосовується нітрид кремнію. Його структура (тонкі довгасті частки нітриду бета-кремнію, розташованих в кристалічній фазовій матриці) забезпечує сприятливе поєднання високої твердості, малої щільності, малого коефіцієнта теплового розширення, високого електричного опору, малої діелектричної проникності і нечутливість до магнітних полів.

Гібридні керамічні підшипники мають наступні переваги.

Маса керамічних кульок на 60% менше маси сталевих кульок. Цей факт має особливе значення при високих швидкостях обертання шпинделя, так як масою визначається величина відцентрової сили, яка притискає кульки до зовнішньому кільцю. Наслідком є знос, і навіть деформація кульок. Більш легкі керамічні кульки менш схильні до впливу відцентрової сили. Їх використання дозволяє підвищити швидкості обертання на 30% без впливу на термін служби підшипників певного діаметру.

Однією з найбільш часто зустрічаються причин зносу і виходу з ладу підшипників є холодне «мікро - зварювання» матеріалу кульки з матеріалом підшипникових кілець.

Цим обумовлюється зміна шорсткості поверхні кульки і кільця, що в свою чергу веде до підвищеної генерації тепла і пошкоджень підшипників. Застосування керамічних кульок практично знищує дію цього механізму, результатом чого є суттєве збільшення терміну служби підшипників.

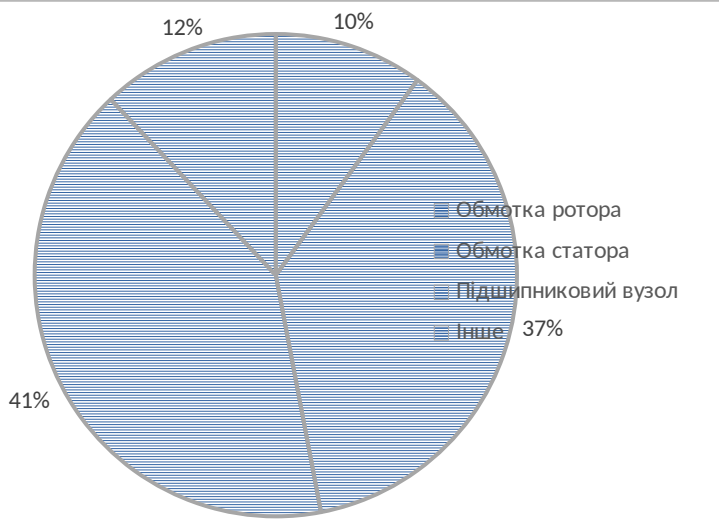
Керамічні підшипники генерують менше тепла. Керамічні кульки мають близьку до ідеальної форму. Внаслідок цього генерація тепла на високих оборотах різко знижується, що крім цього збільшує термін служби мастила. Застосування керамічних підшипників різко знижує рівень вібрацій шпинделя.

Експериментальні дослідження показали, що гібридні керамічні підшипники мають більш високу жорсткість і більш високі частоти власних коливань. Це робить їх менш чутливими до зовнішніх вібрацій.

2.4 Оцінка надійності компонентів мотор-шпинделя для високошвидкісної обробки

Розвиток технологій обробки металів різанням йде в напрямку впровадження методів високошвидкісної обробки. Одним з основних компонентів для такої обробки є мотор-шпинделі, якими або обладнуються верстати, що серійно виробляються, або вони постачаються окремо для створення спеціального та модернізації існуючого обладнання. Взагалі мотор-шпинделі - це шпинделі які суміщають в собі конструкцію класичного шпинделя (валу) та електричного асинхронного двигуна. Це корпус зі статором в середину якого поміщено вал з пакетом ротора. На передній та задній частині валу встановлюються високошвидкісні підшипники, що забезпечують жорсткість, точність, а також сприймають осьові навантаження [25]. Так наприклад швейцарська компанія iVag виробляє мотор-шпинделі, що забезпечують частоту обертання від 35 000 до 160 000 об/хв. [26]. Для забезпечення такої високої частоти обертання в конструкції використовуються гібридні керамічні підшипники, а також система масляно-повітряного змащування. Найбільш критичними компонентами будь якого мотор-шпинделя є система підшипників, а також компоненти асинхронного двигуна. Для експлуатації таких вузлів, вибору раціонального режиму роботи та регламентів технічного обслуговування треба вміти прогнозувати їх можливі відмови на основі статистичних методів та теорії надійності [27]. Відмови мотор-шпинделя, як будь якого двигуна будуть мати наступний характер [28]:

- а) Відмови пов'язані з електроживленням;
- б) Відмови пов'язані з механічною частиною;
- с) Відмови пов'язані з оточуючим середовищем.



Кількісний характер впливу окремих компонентів електродвигуна на його відмову за даними [28] наведено на Рис. 2.1. Схожі дані наводить компанія General Electric [28].

Рисунок 2.1. - Вплив окремих компонентів асинхронного електродвигуна на його відмови

Тобто основними та майже рівнозначними чинниками відмов є відмови підшипників та електричних обмоток двигуна, що підтверджується також даними компанії АВВ [28]. З'ясування потребують закони розподілення, що описують відмови цих елементів та мотор-шпинделя (двигуна) в цілому. За даними [27] відмови підшипників описуються законом розподілення Вейбулла, щільність імовірності якого з урахуванням кількості підшипників n , що залежить від компоновки мотор-шпинделя та за умови того, що всі підшипники однакові, виглядає :

$$f(t) = \frac{\alpha n}{\beta^\alpha} t^{\alpha-1} \exp \left[-n \left(\frac{t}{\beta} \right)^\alpha \right] \quad (2.1)$$

де t – час, α – параметр форми; β – параметр масштабу.

Якщо використовуються підшипники різних типів, що відрізняються навантажувальною здатністю, тобто параметром масштабу β , то рівняння (2.1) прийме вигляд:

$$f(t) = \alpha \left[\sum_{i=1}^n \frac{1}{\beta_i^\alpha} \right] t^{\alpha-1} \exp \left[-t^\alpha \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\beta_i} \right)^\alpha \right] \quad (2.2)$$

Залежності (2.1) та (2.2) будуть використовуватися для визначення регламенту технічного обслуговування мотор-шпинделя з метою запобігання відмов підшипників [3]. Для подальшого розгляду будемо вважати, що всі підшипники мають однакову навантажувальну здатність.

У [4] також пропонується використовувати закон розподілення Вейбулла з параметром форми α від 1 до 4 та навіть більше в залежності від навантаження, що згідно з [3] відповідає:

- відмова в наслідок поступового зносу при параметрі форми α до 2,5;
- відмова в наслідок утомного руйнування при $\alpha = 3 \dots 4$;
- відмова в наслідок довгострокової експлуатації (на пізніх стадіях) при $\alpha = 6$ та більше. Вибір конкретного значення параметру форми буде мати дуже суттєвий вплив на прогнозування відмов підшипника.

У якості прикладу, можна зазначити - аналіз типових методик розрахунку підшипників кочення, що наводять провідні виробники (наприклад [4]) вказує, що відмови описуються за допомогою закону розподілення Вейбулла зі значенням параметру форми $\alpha=1,5$. При цьому номінальна розрахункова довговічність підшипника, скорегована на спеціальні властивості підшипника (коефіцієнт a_2) та робочі умови (a_3) [4] - L'_{10} відповідає імовірності безвідмовної роботи $\gamma = 0,9$. Виходячи з рівняння γ -процентного напрацювання до відмови для закону Вейбулла:

$$T_\gamma = \beta \cdot [-\ln \gamma]^{1/\alpha} \quad (2.3)$$

Можна отримати значення параметру масштабу:

$$\beta = \frac{L'_{10}}{[-\ln \gamma]^{1/\alpha}} = \frac{L'_{10}}{[-\ln 0.9]^{1/1.5}} = 4.48 \cdot L'_{10} \quad (2.4)$$

А вважаючи середнє напрацювання до відмови підшипника $\dot{L}$ оцінкою математичного очікування розподілення Вейбулла

$$\mu = \beta \cdot \Gamma(1 + 1/\alpha) \quad (2.5)$$

де $\Gamma(1 + 1/\alpha)$ – повна Гамма-функція, з рівняння (2.5) отримаємо:

$$\dot{L} = \beta \cdot 0.903 = 4.05 \cdot L'_{10} \quad (2.6)$$

При цьому імовірність безвідмовної роботи одного підшипника за час $\dot{L}$ складатиме тільки 0,42. Цих даних є цілком досить для прогнозування відмов підшипників та створення регламенту їх обслуговування та/або заміни [3]. Для цього визначимо час між замінами підшипників з урахуванням їх кількості в мотор-шпинделі T_{My} :

$$T_{My} = \beta \cdot \left[\frac{-\ln y}{n} \right]^{1/\alpha} \quad (2.7)$$

Для успішної експлуатації мотор-шпинделів в конструкції верстата треба передбачити ефективну систему охолодження, якщо така не передбачена самою конструкцією мотор-шпинделя. Так наприклад для зазначених вище мотор-шпинделів робоча температура не повинна перевищувати 60°C. Температура будь якого якісного двигуна не повинна перевищувати 80°C [4]. Така температура не буде впливати на довговічність опор, бо температурний коригуючий коефіцієнти при розрахунках є відмінним від 1 при температурах починаючи зі 120 - 150°C. Але температури, що перевищують 100°C є досить суттєвими та неприпустимими для функціонування асинхронного двигуна [4]. Так наприклад, у відповідності з правилом Монтзігера при перевищенні температури зверх допустимої на кожні 8 - 10 °C (в залежності від класу ізоляції) строк служби двигуна знижується вдвічі [5]. При цьому у 93%

випадків відмова настає внаслідок міжвиткових замикань. Вважаючи таким чином теплове старіння ізоляції одною з основних причин відмови двигуна (але безумовно не єдиною), в роботі [5] наведена залежність для визначення строку служби ізоляції в умовах відмінності температури від номінальної. Аналогічна залежність для середнього строку служби будь яких електричних та електронних компонентів наведена в роботі [6]. Вона використовується для організації прискорених випробувань зазначених компонентів. Там також, зазначається, як мають бути враховані наявність декількох причин відмов, включаючи наприклад ще електричні та механічні впливи окрім теплових. Але у спрощеному вигляді, для наведеної однієї причини маємо:

$$\dot{T} = \dot{T}_0 \cdot \exp \left[\frac{-E_a}{k} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{\theta_0} \right) \right] \quad (2.8)$$

де, $\dot{T}$ – середній строк служби (напрацювання до відмови) при температурі θ , К (273+ °С); $\dot{T}_0$ – середній строк служби при номінальній температурі θ_0 , К; E_a – енергія активації, eV; k – константа Больцмана: $k = 8.63 \cdot 10^{-5}$ eV/K.

Виходячи з даних наведених в [6] та [5] енергію активації E_a для ізоляції можна прийняти в межах 0,82 – 0,90 eV.

Відмови електричних та електронних компонентів, включаючи відмови обмоток та інших елементів електродвигунів, зазвичай описуються одно параметричним експоненціальним законом розподілення:

$$f(t) = \lambda \cdot \exp(-\lambda t) \quad (2.9)$$

де λ – інтенсивність відмов відповідного компонента, 1/год.

Інтенсивність відмов при міжвитковому замиканні за даними [8] складає $3 \cdot 10^{-6}$ 1/год.

Виходячи з властивостей експоненціального закону розподілення номінальний середній строк служби компонента може бути визначено:

$$\dot{T}_0 = \frac{1}{\lambda_0} \quad (2.10)$$

Враховуючи зміну середнього напрацювання до відмови в залежності від температури згідно з рівнянням (6), можна визначити і інтенсивність відмов при довільній температурі:

$$\lambda = \frac{1}{\dot{T}} \quad (2.11)$$

Імовірність безвідмовної роботи підшипників та обмоток двигуна, враховуючи зазначені вище закони розподілення, будуть відповідно визначатися:

$$P_b(t) = \exp \left[-n \left(\frac{t}{\beta} \right)^\alpha \right] \quad (2.12)$$

$$P_e(t) = \exp [-\lambda t] \quad (2.13)$$

де n – кількість підшипників в мотор-шпинделі.

Імовірність безвідмовної роботи мотор-шпинделя, при умові, що відмова настає або в наслідок відмови підшипника, або обмотки двигуна буде визначатися:

$$P(t) = P_b(t) P_e(t) = \exp \left\{ - \left[n \left(\frac{t}{\beta} \right)^\alpha + \lambda t \right] \right\} \quad (2.14)$$

Оскільки, імовірність відмови та щільність імовірності визначаються відповідно:

$$F(t) = 1 - P(t) \quad (2.15)$$

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (2.16)$$

З рівнянь (11) та (12) отримаємо сумісну щільність імовірності:

$$f(t) = \left[\frac{\alpha \cdot n}{\beta^\alpha} t^{\alpha-1} + \lambda \right] \exp \left(- \left[n \left(\frac{t}{\beta} \right)^\alpha + \lambda t \right] \right) \quad (2.17)$$

Виходячи з наведених даних, на Рис. 2.2 представлено графіки інтегральних законів розподілення, що демонструють залежність імовірності відмов від часу при різних температурах.

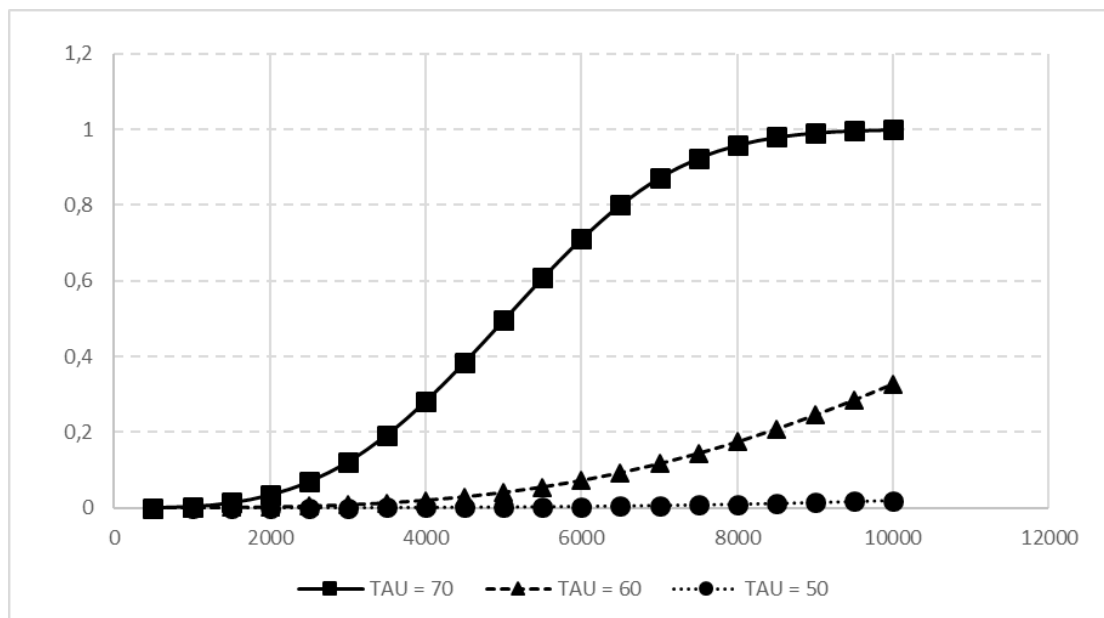


Рисунок 2.2 - Залежність імовірності відмови від часу при різних температурах для мотор-шпинделя.

З наведеного графіку видно що, прийнявши імовірність безвідмовної роботи на рівні 98% на протязі 4000 год. (приблизно 2 роки – гарантійний

строк для мотор шпинделя) за номінальної температури, при температурі 50°C імовірність відмови буде складати 0,1%, а при температурі 70°C вона підніметься майже до 30%.

2.5 Температурний режим роботи підшипника

На температурний режим роботи підшипника в великій мірі впливають величини зазорів між шийкою і вкладишем. Недостатній зазор не забезпечує надходження необхідної кількості масла, відбувається розрив масляної плівки, тертя і нагрів деталей підшипника. Цей дефект пригонки вкладишів легко виявляється після розбирання підшипника, так як на робочих поверхнях вкладиша будуть чітко видні сліди торкання шийки. Збільшення зазору досягається додатковим шабруванням вкладиша; встановленням прокладок між верхньою і нижньою частинами вкладиша не допускається.

Як правило, температура підшипників може бути оцінена по температурі зовнішньої поверхні корпусу, проте кращим способом є безпосереднє вимірювання температури зовнішнього кільця підшипника за допомогою вимірювального зонда через отвір для масла [21].

Зазвичай, після початку роботи машини температура підшипників поступово підвищується протягом близько 1-2 годин до досягнення сталого режиму. Температура підшипника в сталому режимі залежить від навантаження, частоти обертання і характеристик теплопровідності машини. Недостатня кількість мастила або неякісний монтаж можуть стати причиною швидкого підвищення температури підшипників. В такому випадку, необхідно призупинити роботу машини і провести відповідні профілактичні заходи.

Дві основні цілі використання мастила полягають в мінімізації тертя і скорочення зносу підшипників, які можуть привести до передчасного виходу підшипників з ладу. Мастило забезпечує наступні переваги:

- Зменшення ступеня тертя і зносу

Безпосередній контакт між кільцями підшипника, елементами кочення і сепаратором, які є основними компонентами підшипника, усувається завдяки шару мастила, що зменшує тертя і скорочує знос на поверхнях контакту.

- Продовження втомної довговічності

Втомна довговічність підшипників кочення значною мірою залежить від в'язкості і товщини мастильного шару між поверхнями контакту кочення. Велика товщина шару мастила продовжує втомну довговічність, і навпаки, довговічність зменшується, якщо в'язкість масла занадто мала, внаслідок чого товщина мастильного шару недостатня.

- Розсіювання теплоти тертя і охолодження

Циркуляційне мащення може бути використане, як для відводу теплоти тертя, так і теплоти, що надходить ззовні, з метою не допустити перегріву підшипника і псування масла.

- Ущільнення і захист від корозії

Відповідне мастило також перешкоджає попаданню сторонніх часток в підшипники і захищає від корозії і ржавіння.

Якщо на поверхні підшипника температура підвищується до 60-70 ° С (при дотику рука насилу витримує цю температуру), то на поверхні тертя температура в 1,5-2 рази вище тобто така, при якій масло розріджується.

Під час роботи ведуть спостереження за температурою підшипників (температура масла повинна бути не вище 70 ° С), чистотою мастила, заповненням масляної системи, достатнім надходженням до підшипників [22].

Залежно від способу подачі мастила в підшипник температура мастила, яка витікає з різних сторін підшипника, може істотно відрізнятися від її середнього значення. Щоб вирівняти температури витікає з обох сторін підшипника мастила і уникнути її місцевого перегріву при роботі підшипників в умовах високих швидкостей, необхідно мастило подавати в підшипник з двох його сторін при куті нахилу струменів до осі підшипника 15-20 °. Після зупинки компресора перевіряють нагрівання підшипників, температура яких не повинна перевищувати 55 ° С понад температуру навколишнього повітря. З

підвищенням температури в'язкість мастила зменшується. Вплив температури на в'язкість дуже велика і практично дуже важливо, так як при роботі підшипника температура мастила, а отже, і в'язкість її можуть різко змінитися. Під час роботи ведуть спостереження за температурою підшипників (температура масла повинна бути не вище 70°C), за мастилом, наповненням масляної системи, достатнім надходженням до підшипників охолоджуючої води (температура води на виході повинна бути не більше $30-40^{\circ}\text{C}$), навантаженням електродвигуна по амперметрі, температурою статора двигуна, відсутністю вібрації і стукотів, температурою відхідних газів (при підвищенні її погіршується робота димососа), температурою повітря, що подається вентилятором.

З розглянутих вище теоретичних положень випливає, що величина резерву мастила в підшипнику є функцією багатьох змінних і залежить від фізико-хімічних властивостей мастила, конструктивних особливостей вузла тертя і умов його експлуатації. Фізико-хімічні властивості мастильного матеріалу впливають на резерв мастила в підшипниках як при змазуванні маслами, так і пластичними мастилами. Для масел визначальне значення мають їх поверхневі властивості (поверхневий натяг, крайовий кут змочування, робота адгезії), для пластичних мастил-об'ємно-механічні властивості (в'язкість, межа міцності на зрушення). Важливе значення з умов роботи вузла тертя мають частота обертання підшипника, температура, інтенсивність вібрації його деталей і характер навколишнього середовища. З конструктивних факторів можна вказати на діаметр підшипника, ширину кілець, форму і розміри жолоба на них, тип сепаратора, наявність і якість ущільнень, розташування вала (вертикальне чи горизонтальне) і багато інших.

Надійна робота підшипника залежить не тільки від посадки, а й від суворого дотримання правил монтажу. Залежно від натягу і серії підшипника температура його нагрівання перед монтажем повинна бути в межах $60-100^{\circ}\text{C}$. Підшипники легкої і середньої серії або їх кільця краще нагрівати в масляних ваннах, а важких - індукційним способом. Якщо підшипник або його кільця

монтують вручну, не можна наносити удари безпосередньо по ним. У цих випадках, а також коли монтаж ведеться за допомогою преса, застосовують оправлення, що забезпечують дію зусилля запресовування по осі вала [23].

До цієї категорії слід відносити підшипники, температура яких в процесі тривалої експлуатації перевищує $80 - 100^{\circ}\text{C}$ або при короткочасному нагріванні $140 - 160^{\circ}\text{C}$.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок сили при свердлінні

При призначенні режимів різання враховується характер обробки, тип та розміри інструменту, матеріал його ріжучої частини, матеріал та стан заготовки, тип та стан обладнання [1, с.275].

- Глибина різання t при свердленні :

$$t = 0.5D \quad (3.1)$$

де, D – діаметр оброблюваних отворів;

$$t = 0.5 \times 6 = 3 \text{ мм}$$

- Подача при свердленні отворів без обмежуючих факторів обирається максимально допустимою залежно від міцності сверла.

$$S = 0.1 \text{ мм}$$

- Швидкість різання при свердленні розраховується за формулою:

$$V = \frac{C_v \cdot D_q}{T^m \cdot S^y} K^v, \quad (3.2)$$

де, значення коефіцієнтів C_v та показників степеню приведені для свердлення за [1, с.278, табл.. 28], а значення періоду стійкості T за [1, с.278, табл.. 30].

Загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання, враховуючий фактичні умови різання розраховується за формулою

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{iv}, \quad (3.3)$$

де, $K_{mv} = 1$ – коефіцієнт на оброблюваний матеріал [1, с.277];

$K_{uv} = 1$ – коефіцієнт на інструментальний матеріал [1, с.277];

$K_{iv} = 1$ – коефіцієнт, що враховує глибину свердлення [1, с.278].

$$C_v = 36,3$$

$$V = \frac{36.3 \cdot 3^{0.25}}{15^{0.125} \cdot 0.1^{0.55}} \cdot 1 = 120 \text{ м/с}$$

- Осьова сила розраховується за формулою:

$$P_0 = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p, \quad (3.4)$$

$$P_0 = 10 \cdot 32.8 \cdot 3^{1.2} \cdot 0.1^{0.75} \cdot 1 = 218 \text{ Н}$$

- Радіальна сила під час свердлення має мінімальний вплив, тому в наступних розрахунках не враховується.

Радіальна сила приймається 0.

Тип та розмір підшипників вибрано попередньо, наступним розрахунком перевіряємо орієнтовний строк служби підшипника до появи руйнування робочих поверхонь.

Підшипники, що були обрані, на першому етапі конструювання, обиралися в залежності від орієнтовного значення діаметру вала. Потім, паралельно з уточненням розмірів вала по довжині і по діаметру і уточненням навантаження підшипника переглянуто першо-початковий варіант і найбільш раціонально вибрати підшипник, що забезпечує необхідну довговічність. Для кожного підшипника в каталозі вказується динамічна вантажо – під'ємність C , т. е. навантаження, яке 90% підшипників даного типорозміру можуть витримати в нормальних умовах роботи протягом одного мільйона обертів без втомних руйнувань робочих поверхонь. Нормальними умовами вважаються: відсутність перевантажень, температура до 100°C , а також для радіальних і радіально-упорних підшипників - обертається внутрішнє кільце при нерухомому зовнішньому і чисто радіальне навантаження.

Приведене навантаження підшипника розраховується за формулою

$$P = (F_r X + F_a Y) K_o, \quad (3.5)$$

де, F_r і F_a – відповідно радіальне та осьове навантаження підшипника, Н.

Коефіцієнт K_o (безпеки чи динамічності) приймається 1, в залежності від динамічних перенавантажень підшипника.

Коефіцієнти X та Y приймаються згідно [2,с.25].

$X=1$; $Y=1$.

$$P = 218 \text{ Н}$$

3.2 Розрахунок опор на довговічність. Номінальна довговічність

Необхідні розміри підшипника визначаються на підставі діючих зовнішніх сил, а також виходячи з вимог до довговічності і надійності підшипника в опорному вузлі. Величина, напрямок і характер впливає на підшипник навантаження, як і робоча частота обертання, є вирішальними при виборі виду і розмірів підшипника. При цьому мають бути враховані особливі або важливі умови кожного окремого випадку, наприклад, робоча температура, просторові можливості, простота монтажу, вимоги до змазування, ущільнення, які можуть вплинути на вибір найкращого підшипника. Даних конкретних умов у багатьох випадках можуть задовольняти різні типи підшипників.

З точки зору зовнішніх зусиль і функції підшипника у відповідному вузлі або одиниці в підшипникової техніці розрізняють два типи навантаження підшипника кочення:

- якщо підшипникові кільця обертаються один щодо одного, і підшипник в цьому стані піддається впливу зовнішніх сил (що відноситься до більшості випадків використання підшипників), мова йде про динамічному навантаженні підшипника,

- якщо підшипникові кільця не переміщаються один щодо одного або переміщуються дуже повільно, підшипник переносить коливальний рух або зовнішні сили діють протягом більш короткого часу, ніж час одного обороту підшипника, мова йде про статичному навантаженні підшипника.

Для визначення безпеки підшипника в першому випадку вирішальним є довговічність, лімітована дефектом в результаті втоми матеріалу одного з

компонентів підшипника. У другому випадку це стійка деформація функціональних поверхонь в місцях контакту тіл кочення і доріжок кочення.

Наступним розраховується строк служби в мільйонах обертів, що гарантується для 90% підшипників за формулою

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^m, \quad (3.6)$$

де, показник m приймається 3 для шарикових підшипників за [2, с.33].

$$L_{10} = \left(\frac{3360}{109 \cdot 0,6} \right)^3 = 31849 \cdot 10^6 \text{ об}$$

При розрахунках строку служби враховується коефіцієнт розподілу навантаження у підшипнику в стакані враховуючи кількість підшипників та матеріал з якого вони виготовляються – 0,6.

Час служби розраховується за формулою, год

$$L_h = \frac{10^6}{60n} L, \quad (3.7)$$

$$L_h = \frac{31849 \cdot 10^6}{60 \cdot 60000} = 0,0088 \cdot 10^6 = 8800 \text{ год}$$

Період часу, протягом якого підшипник повинен працювати нормально в певних умовах експлуатації - термін служби підшипників. Даний показник, в основному, залежить від кількості оборотів, які підшипник може виконати до моменту прояву симптомів втоми, таких як тріщини в результаті напруги (розрахунки для підшипника наведено вище).

На передчасний відмова підшипника можуть впливати не тільки природний знос, але і екстремальні температури, недолік або надлишок

мастила, внутрішні пошкодження підшипника. Такі поломки, як правило, пов'язані з неправильним вибором підшипника, помилками при установці, неякісним техобслуговуванням.

Втомна довговічність L_{10} - Номінальна довговічність підшипника (мільйонів оборотів в хвилину), яку здатні досягти або перевершити 90% від усієї кількості підшипників однієї групи до появи перших ознак втоми матеріалу (тобто можливість відмови: 10%).

Відповідно до стандарту ISO 281 в методі обчислення довговічності підшипника враховуються такі параметри як навантаження на підшипник, частота обертання, динамічна вантажопідйомність і тип підшипника. Результатом є втомна довговічність підшипника L_{10} .

У розрахунках строка служби підшипники обрано за [25, с.10] керамічні з розмірами $d = 15$; $D = 32$; $B = 9$; $C = 3360$ Н.

Таким чином, згідно розрахунків підшипники можуть пропрацювати 2 роки тим самим підшипники обрано вірно. Згідно розмірів шпиндельного вузла та умов його роботи даний строк служби є оптимальним.

3.3 Розрахунок несучої здатності робота

Несуча здатність (НС) - максимальна робоча навантаження, яку здатні винести несучі конструкції без руйнування, деформації та втрати функціональності.

Перевищення НС веде до граничного стану - коли елемент конструкції починає руйнуватися.

Під несучою здатністю мають на увазі максимальне навантаження, яку здатні витримувати конструкції, не втрачаючи при цьому функціональних якостей.

Не менш важливою є правильна оцінка можливостей конструкцій і складання рекомендацій щодо подальшої експлуатації.

Аналіз і визначення несучої здатності є комплексом дослідницьких робіт, під час яких вивчається проектна документація, аналізуються способи сполучення конструкцій, способи обпирання, взаємодії та характер навантажень. Крім того, враховується наявність дефектів на конструкціях, прораховується їх подальша працездатність.

Після вивчення фактичних даних матеріалів стає можливим визначити прогини, рівень жорсткості. Отримані дані порівнюються з наявними на даний момент, після чого робляться відповідні висновки.

По завершенню подібної операції стане зрозумілою картина впливу навантажень на різні елементи конструкцій. Можливим є виявити дійсний запас міцності, спрогнозувати їх зміни в відповідному робочому середовищі в різних умовах.

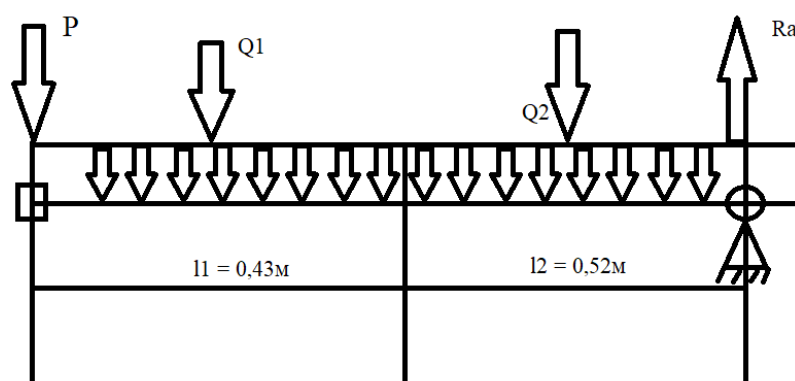
При розрахунках та проведенні повного силового аналізу механізму на несучу здатність робота розрахунки потребують спеціальних складних методик за літературою [4,5].

Виходячи з цього приймається ряд спрощень: балка приймається у горизонтальному положенні, при розрахунку, та при врахуванні дії сил, моментів на неї, приймається прямокутний перетин з розмірами

$$h = 0,11\text{м} \quad b = 0,14\text{м}.$$

Взято за основу методику розрахунків з опору матеріалів, та прийнято оптимальне рішення згідно заданих та експлуатаційних умов.

Проведено розрахунок (надається нижче) на міцність за стандартною методикою. Розраховано величини згинаючого моменту. У результаті розраховано максимальний згинаючий момент. Перевірка на міцність показала запас міцності в 10,4%. Можливо підняття вантажу 6,18 кг.



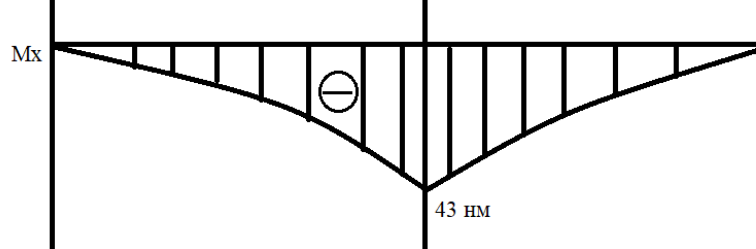


Рисунок 3.1 – Розрахункова епюра

$$l_1 \cdot \cos 20^\circ = 0,46 \cdot 0,93 = 0,427 \text{ м}$$

$$L_2 \cdot \cos 20^\circ = 0,56 \cdot 0,93 = 0,52 \text{ м}$$

$$Q_1 = 100 \text{ Н}$$

$$Q_2 = 120 \text{ Н}$$

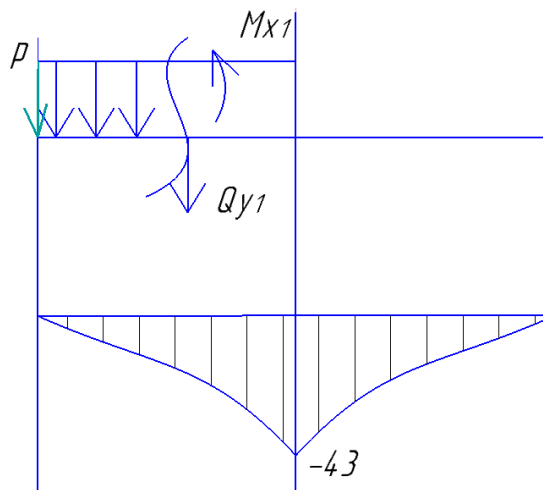


Рисунок 3.2 – Розрахункова епюра моментів

$$\text{I-I } 0 \leq z_1 \leq l_1 \cdot \cos 20^\circ$$

$$M_{x_1} = -P l_1 \cos \alpha \frac{-Q_1 l_1 \cos \alpha}{2} = -50 \cdot 0,43 - 100 \cdot 0,215 = -21,5 - 21,5 = -43$$

$$M_{x_1} = -270,78 \cdot 0,52 + 120 \cdot 0,26 = -140,8 + 31,2 = 109$$

$$W_x = \frac{bh^2}{6} = \frac{0,14 \cdot 0,11^2}{6} = \frac{14 \cdot 11^2}{6} = 282,3 \text{ см}^3$$

Згідно вихідних даних, а саме матеріалу обрано допустиму межу міцності за [3,с.6]

$$[\sigma] = 17 \text{ МПа}$$

Розрахункова межа міцності визначається за формулою

$$\sigma = \frac{M_{x_{max}}}{W_x} = \frac{43}{282,3} = 15,23$$

Отже, розрахункова межа міцності входить в допустимі межі міцності згідно ГОСТ 26158-84.

Розраховується запас міцності за формулою

$$\delta = \frac{15,23 - 17}{17} 100\% = 10,4$$

Перераховуємо розрахунки згідно з урахуванням максимального допустимої межі міцності:

$$[17] = \frac{M_x}{W_x} \gg M_x = 17 \cdot 282,3$$

$$M_{x_{max}} = 48,11 \text{ Н}$$

$$P = 61,8 \text{ Н} - \text{маса } 6,2 \text{ кг}$$

3.4 Система охолодження шпиндельного вузла, як інструмент для компенсації температурної деформації верстата

Компенсація температурних помилок верстатів являє собою досить складну задачу в даний час. Користувачі верстатів мають дуже високі

очікування, щодо якості обробки виробів, тому необхідно використовувати всі засоби для підвищення точності обробки існуючих машин.

Конструкція кожного шпинделя влаштована за однаковим принципом. Роторний вал утримується в корпусі підшипниками кочення. Обертальні рухи забезпечуються завдяки вбудованому двигуну.

Системи охолодження, необхідні для роботи кожного шпинделя, поділяються на повітряні та рідкі. Для теплообміну з рідиною в конструкції кожного приладу присутня спеціальна система круглої циркуляції або рубашка охолодження. Необхідність додаткового оснащення конструкції, а також верстата можна відносити до негативних сторін такого способу охолодження. До позитивних якостей, природно, відноситься його ефективність.

Технологічні особливості систем повітряного охолодження полягають в нагнітанні повітряної маси в порожнину, спеціально передбачену для цього. В корпус таких шпинделів монтуються спеціальні повітро - забірники. Простота і компактність таких пристроїв - це їх перевага, а до недоліків можна віднести забруднення фільтрів відходами обробки матеріалів.

Пристрої з рідким охолодженням часто застосовуються в високоякісних промислових агрегатах на підприємствах нашої країни. Мотор ефективно охолоджується водою або тосолом. Такі шпинделі укомплектовані високошвидкісними підшипниками, що не потребують додаткового обслуговування. Управління цими пристроями здійснюється через частотні перетворювачі. На сучасному ринку доступні пристрої як європейських, так і китайських виробників.

На сучасному ринку доступне велика кількість шпинделів. Системи охолодження, спосіб фіксації ріжучого інструмента та регулювання живлення мотора також може відрізнятися. Тому краще класифікувати всі шпинделі, доступні в продажі, за типом оброблюваних матеріалів. Можливості кожного пристрою обумовлені їх технічними характеристиками.

Однією з основних цілей при виконанні курсової роботи є аналіз інформації щодо внутрішніх теплових змін в шпинделі шляхом вимірювання

температури ззовні шпинделя. Одним із запропонованих варіантів є рубашка охолодження, що має ребра, по поверхні яких протікає охолоджуюча рідина, навколо груп підшипників та обмотки ротора. Таким чином відводиться тепло, що утворилось, від компонентів шпинделя. Креслення рубашки охолодження надається на кресленні (формат А4).

При розробці рубашки охолодження замість існуючих ребер охолодження можливе отримання ребер методом деформуючого різання.

Технологія деформуючого різання (Deformational Cuting) заснована на процесі часткового зрізання припуску і цілеспрямованого пластичного деформування підрізаного поверхневого шару. Стружка, що утворюється при деформуючому різанні не відділяється повністю від заготовки, зберігаючи з нею зв'язок у своїй вузькій стороні [24].

Сукупність підрізаних поверхневих шарів, які зберегли суцільність свого з'єднання з заготовкою, утворює на обробленій поверхні деталі розвинений макрорельєф.

Технологія має високу продуктивність і широкий діапазон типорозмірів одержуваного макрорельєфу і може бути реалізована, як на спеціалізованому, так і на уніфікованому металорізальному обладнанні.

Метод деформуючого різання дозволив реалізувати конструкцію мікрощілинного теплообмінника. Розбивка теплоносіїв на безліч паралельних мікропотоків забезпечує високу теплову ефективність теплообмінника при його низькому гідравлічному опорі. Циліндричний корпус забезпечує можливість роботи при появі великого тиску теплоносіїв. За коефіцієнтом компактності (відношення площі теплообмінної поверхні до габаритів) даний тип теплообмінників перевершує відомі [24].

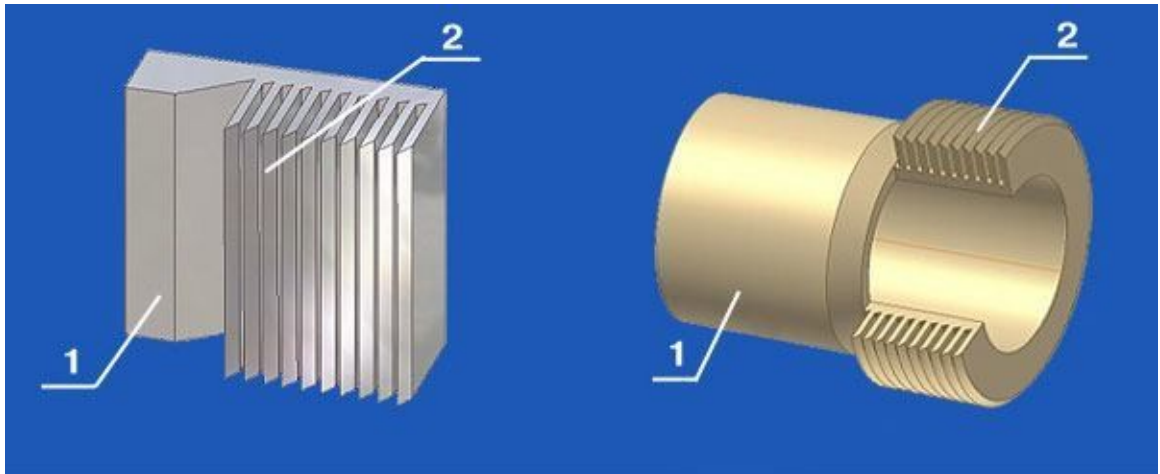


Рисунок 3.3 – Технологія деформуючого різання (1 – основний матеріал, 2 – оребрення)

4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ ОБРОБКИ ЧЕРЕЗ CAD/CAM СЕРЕДОВИЩЕ CREO

На основі аналізу конструкції роботизованої установки для високошвидкісного свердління і її переміщень зроблено висновок про можливість використання модуля CAM/CAD системи CREO, що в свою чергу дає можливість підвищити ефективність виробництва.

Для реалізації траєкторій обробки деталей створених у програмному середовищі CREO необхідно було розробити програмне забезпечення – постпроцесор, що відповідав би даним системи ЧПК даної роботизованої установки.

За основу було взято постпроцесор розроблений для верстату Leadwell. Для отримання готового виробу на верстаті з СЧПК необхідно виконати декілька етапів: 1. Змодельовати необхідну 3D деталь у САМ програмі, вказати режими та параметри обробки, переходи, послідовність обробки, отримати Cutter Location Data файл, що необхідно перетворити у формат, що сприймається верстатом за допомогою програмного забезпечення. Важливо розуміти, що якість отриманої деталі залежить від отриманого коду та заданих параметрів у ньому.

Навички роботи у САМ/CAD системах дуже важливі. В залежності від вірно побудованої 3D моделі, заданих розмірів заготовки, визначення системи координат деталі на верстаті, вибору стратегії обробки деталі, задання режимів різання та параметрів переміщення інструменту при обробці залежить якість та вірність деталі, що можливо отримати на верстаті з ЧПУ.

САПР (система автоматизованого проектування) - це система, яка реалізує проектування, при якому всі проектні рішення або їх частину отримують в результаті обчислення і складання математичних моделей на ЕОМ.

На даний момент виділяють три основні підгрупи САПР:

- Машинобудівні САПР (MCAD - Mechanical Computer Aided Design)
- Архітектурно-будівельні САПР (CAD / AEC - Architectural, Engineering, and Construction)

- САПР друкованих плат (ECAD - Electronic CAD / EDA - Electronic Design Automation).

Найбільш розвиненим серед них є ринок MCAD, в порівнянні з яким сектори ECAD і CAD / АЕС досить статичні і розвиваються слабо.

Як правило, більшість програмно-обчислювальних комплексів поєднують в собі рішення завдань CAD / CAM, CAE / CAM, CAD / CAE / CAM.

Універсальної конфігурації графічної робочої станції для оптимальної роботи з CAD / CAM / CAE-додатками не існує. У зв'язку з різною складністю програмних продуктів, яких, до слова, на ринку більш ніж достатньо, конфігурації можуть змінюватись дуже сильно і їх необхідно підбирати суто індивідуально. Метою індивідуального підбору конфігурації є саме пошук системи з найкращим співвідношенням "ціна / продуктивність" для вирішення певних завдань.

Основна мета використання САПР - підвищення ефективності праці інженерів, має наступні переваги:

- скорочення трудомісткості проектування і планування;
- скорочення термінів проектування;
- скорочення собівартості проектування і виготовлення, зменшення витрат на експлуатацію;
- підвищення якості і техніко-економічного рівня результатів проектування;
- скорочення витрат на моделювання та випробування.

Дуже важливо розуміти, що обробка, яку ми бачимо у САМ програмі не є кінцевим результатом, що ми маємо у NC файлі (Рис.4.1).

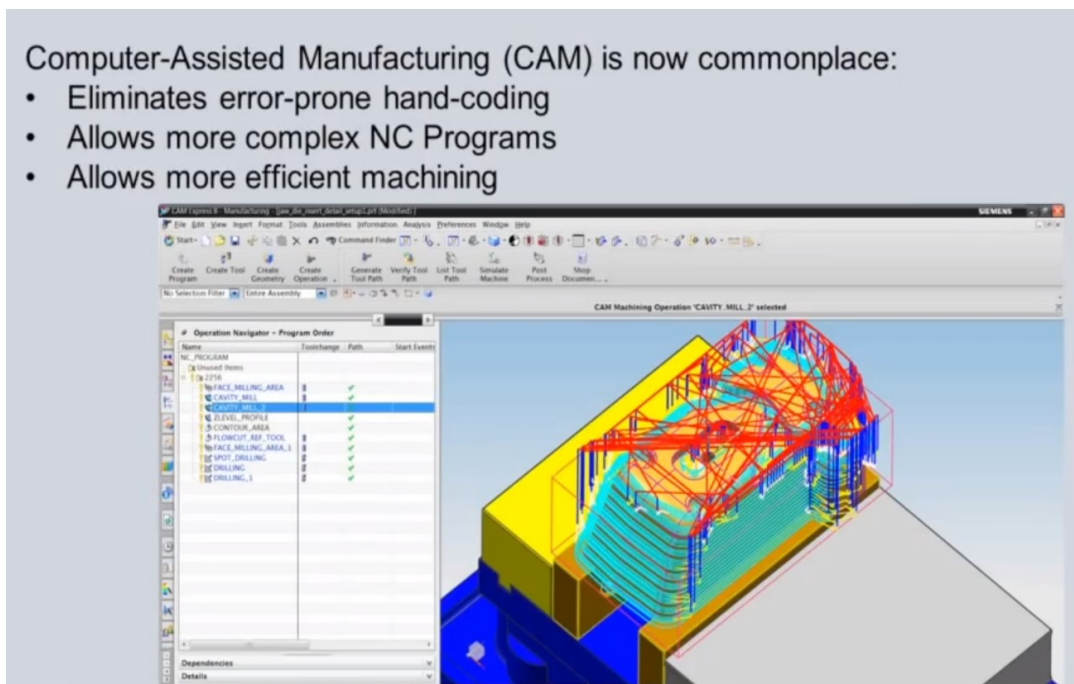


Рисунок 4.1 – Приклад зображення обробки у САМ системі.

Останнім етапом при утворенні керуючої програми є перетворення отриманих даних з CL файлу, що отриманий с САМ програми, за допомогою постпроцесору у файл, що можливо завантажити у верстат з ЧПК. Розглянемо детальніше дане програмне забезпечення – постпроцесор та етапи його створення для високошвидкісної обробки на нашій установці.

4.1 Основні елементи постпроцесору. Основи його роботи.

Постпроцесор - це програмний модуль, призначений для перетворення керуючої траєкторії, сформованої САМ-системою, в керуючу програму для конкретного верстата з ЧПУ з урахуванням особливостей його кінематики.

Вихідною інформацією для отримання програми обробки на верстаті з ЧПУ є геометрія деталі, що визначена на проектно-конструкторському етапі. Потім при створенні керуючої програми технолог-програміст користується САМ-системою. Система генерує файл, який містить інформацію про положення, траєкторії інструменту, режими різання і інші технологічні

параметри. Далі вступає в роботу постпроцесор, який обробляє ці дані і формує керуючу програму для певного верстата.

Процес створення постпроцесора умовно розділяється на два основних етапи: написання постпроцесора і відпрацювання постпроцесора на верстаті. Процес написання постпроцесора полягає в створенні в модулі PTC CREO паспорта верстата, файлу макрокоманд, макета кадру і файлу алгоритмів. Процес відпрацювання постпроцесора полягає в досягненні безвідмовної роботи на верстаті керуючої програми, одержуваної з використанням системи CREO. В системі CREO створюється траєкторія обробки тестової деталі, потім створюється УП і перевіряється коректність сприйняття системою ЧПУ і верстатом сформованої УП. При виявленні помилок і недоліків в отриманій УП, постпроцесор допрацьовується і знову перевіряється працездатність УП.

Результатом налагодження постпроцесора є отримання придатної тестової деталі, відповідної необхідним розмірам. [33]

Модуль Pro / NC-GPOST – використовується для створення на налагодження постпроцесору. Він складається з:

1. Генератор файлів параметрів (Option file)
2. GPOST

Робочий процес можливо представити на Рис. 4.2. [34]

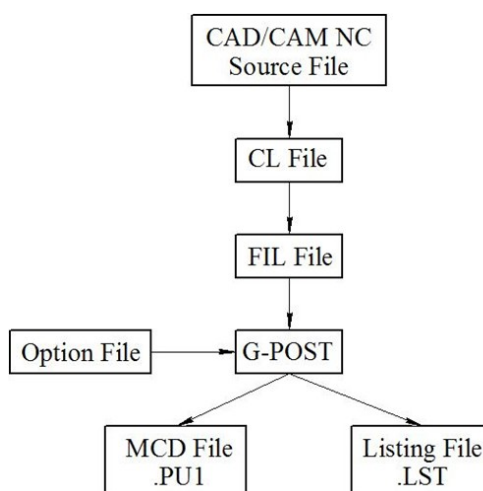


Рисунок 4.2 – Схема роботи постпроцесору

Існує три способи налаштування постпроцесора для певного блоку керування верстатом [36]:

1. Файл опцій (Option File): Генератор файлів параметрів дозволяє виконувати наступні завдання:

Інтерактивно створювати файл параметрів, який буде налаштувати постпроцесор для вашого NC / CNC відповідно до вимог машини.

Надає інтерфейс для створення / редагування файлу FIL, що необхідний для задання спеціалізованих макрокоманд чи циклів.

Також є функція завантаження вже готового постпроцесору та його редагування. Усе це можливо виконати за допомогою «написання» Option File. При створенні файлу варіанта обробки - Файл опцій називається UNCL01.Pnn, де nn - номер машини, який ви призначили. Постпроцесор зчитує даний Option File, для того щоб перетворити значення згідно G-Post та сгенерувати файл виводу даних.

2. Файл FIL (Factory Interface Language) використовується для налаштування виводу інформації за допомогою постпроцесора.

FIL - це текстовий файл, що написаний мовою MACRO. Використовуючи генератор файлів опцій (Option File), шаблон файлу FIL автоматично створюється, коли ви обираєте «Редагувати FIL» в параграфі «Додатково».

FIL дозволяє оператору виходити за межі можливостей постпроцесора через можливість перехоплення записів, що зчитує постпроцесор, і маніпулювати ними у способах, обмежених лише уявою користувача [35]. Мова макросів FIL дозволяє користувачам:

- Додавати, видаляти або змінювати дані файлу CL після утворення постпроцесора;
- Додати або змінити слова словника APT;
- Викликати інші програми;

Крім того, макросистема FIL має багато функцій для управління логікою:

- Затвердження системи;
- If/then/else функції;
- Створювати контур;
- Переходити до певних ярликів чи категорій.

Існує багато функцій маніпулювання текстовими рядками та багато інших інструментів.

3. PLABEL: Для незначних змін можна використовувати команди PLABEL у файлі APT або CL - перевизначити значення. Це вважається застарілою функцією, але вона все ще повністю підтримується G-Post.

Для коректної роботи програмного забезпечення необхідно вірно задати параметри виводу даних в Option File. В залежності від вказаних параметрів програмне забезпечення виконає обробку введених даних через CAD/CAM програму та створить файл обробки, так звану керуючу програму.

4.2 Алгоритм розробки програмного забезпечення у середовищі CREO.

Розглянемо більш детально алгоритм створення постпроцесору роботизованої установки для високошвидкісної установки у середовищі PTC CREO:

1. Створення моделі для тестової обробки у CAD/CAM програмі CREO.
2. Завантаження моделі у додаток Manufacturing → NC Assembly
3. Обираємо вкладку Applications → NC Post Processor
4. Натискаємо кнопку створити новий і далі в залежності від заданих параметрів та параметрів верстату крок за кроком обираємо запропоновані системою параметри. У даному додатку можливо у базі даних CREO обрати вже готовий постпроцесор, але для інших верстатів, що існують у системі, або можливо завантажити та відредагувати постпроцесор, який був наприклад створений Вами раніше.
5. Після введення усіх загальних параметрів створюється вікно налаштування (Option File Generator) у якому за допомогою редагування та

введення різних параметрів можливо змінювати формат виведення даних у NC файл.

6. Після налаштування файл зберігається на комп'ютері у відповідну папку де знаходяться усі постпроцесори, що використовує CREO.

7. Далі повертаємось до моделі нашої експериментальної деталі. Створюємо усі необхідні етапи для обробки у САМ програмі. А саме: задаємо розміри заготовки, що буде використовуватись, систему координат від якої будуть виконуватись усі розрахунки переміщень інструменту, визначаємо верстат на якому буде виконуватись обробка із зазначенням кількості вісей, вибору постпроцесору, що буде обробляти наші дані, далі створюємо підрозділ Operation у якому будемо створювати усі необхідні операції поступової обробки із зазначенням параметрів обробки. Після завершення налагодження обробки деталі, перевірки усіх важливих параметрів, перевірки на врізання і т.д. натискаємо Save a CL file обираємо операцію, яку необхідно зберегти у виводі даних, обираємо File → MCD File. Наступним кроком необхідно вказати системну папку у яку будуть виведено данні на комп'ютері. Обрати постпроцесор за допомогою якого ви хочете перетворити файл. Далі система запитає надати номер NC файлу, який вона призначить програмі, це виконується для того, щоб верстат знав, яку за номером програму буде виконуватись обробка. Останнім кроком натискаємо Done Output, переходимо у папку, що була вказана для виведення файлу обираємо файл із розширенням .tar і відкриваємо його за допомогою програми Блокнот. Бачимо наш NC код для обробки деталі.

Важливим моментом при створенні постпроцесору є розуміння побудови G коду. Воно необхідно для того, щоб проаналізувати отриманий код. Також під час настройки постпроцесору необхідно звернути увагу на керівництво до верстату на який ви розробляєте постпроцесор. Бо кожен виробник має певні відмінності у тому, як повинні виглядати ти чи інші значення переміщень, або структура кадру і т.д.

8. Завершальним етапом було завантаження коду NC програми до верстату. Перед тим обов'язково необхідно зробити налагодження верстату (увімкнути верстат, задати розмір інструментів та їх порядок в інструментальному магазині, встановити заготовку, задати нуль деталі тощо).

9. Після обробки необхідно оцінити якість обробки поверхні, вірність виконання усього процесу обробки, звірити отримані розміри з розмірами деталі.

При розробці постпроцесору у першу чергу необхідно порівняти відповідність переміщень на верстаті та у програмі CNC Simulator Pro . Необхідно було перевірити, маршрут обробки, підходи інструменту до деталі,

робочі ходи та прискорене переміщення, перевірка траєкторії інструмента на можливі врізання у деталь на прискореній подачі, щоб уникнути пошкодження інструмента та пошкодження деталі.

4.3 Перевірка точності виконання обробки при використанні програмного забезпечення

Для перевірки точності виконання програмного забезпечення виконано обробку деталі, за керуючою програмою, що була отримана при обробці на верстаті з ЧПК завдяки використанню постпроцесору. Усі розміри деталі відповідають заданим на кресленні. Тож, можемо зробити висновок про коректну роботу розробленого програмного забезпечення.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях розробляється згідно з врахуванням роботи в умовах праці з персональним комп'ютером. Тому усі заходи, щодо шкідливих речовин, шуму, пожежної безпеки тощо розглянуті з врахуванням цього.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

- Шум спричиняє шкідливу дію не тільки на орган слуху, але й на весь організм. При тривалому впливі шуму знижується гострота слуху (розвиток глуховатості і глухоти), погіршується стан нервової системи (неврози), серцево-судинної (гіпертонічна хвороба) і травної (гастрити, виразкова хвороба) систем;

- Ступінь впливу ЕМП на організм людини залежить від діапазону частот, інтенсивності та тривалості дії, характеру випромінювання (неперервне чи модульоване), режиму опромінення, розміру опромінюваної поверхні тіла, індивідуальних особливостей організму

- Функціональні ефекти виявляються у передчасній втомлюваності, частих болях голови, погіршенні сну, порушеннях центральної нервової (ЦНС) та серцево-судинної систем. При систематичному опроміненні ЕМП спостерігаються зміни кров'яного тиску, сповільнення пульсу, нервово-психічні захворювання, деякі трофічні явища (випадання волосся, ламкість нігтів та ін.).

- Погане освітлення робочих місць є однією з причин низької продуктивності праці. При недостатньому освітленні очі працюючого напружені, при цьому складно відрізнити оброблювані предмети, знижується темп роботи, погіршується загальний стан організму людини;

- Основними причинами недостатньої або нераціональної освітленості робочих місць є несправність або нераціональний вибір освітлювальних приладів;
- Знижена контрастність із-за неправильного регулювання екрану призводить до зниження працездатності та швидкого стомлювання організму;
- Незадовільні ергономічні характеристики робочого місця внаслідок нераціонального планування робочого місця, що може призвести до механічних травм, уражень електричним струмом та порушень кістково-м'язового апарату;
- Параметри мікроклімату справляють безпосередній вплив на самопочуття людини та його працездатність.
- Наявні в приміщенні матеріали, що можуть виділяти шкідливі хімічні речовини можуть підвищити ГДК цих речовин в повітрі, що приводить до можливих уражень нервової системи людини;
- Небезпека загоряння у зв'язку із несправністю електричного обладнання, недотримання, або порушення правил протипожежної безпеки обслуговуючим персоналом, що може призвести до пожежі;
- Несвоєчасне проведення інструктажу з правил пожежної безпеки, відсутність ефективного управління персоналом під час надзвичайних ситуацій може привести до небезпеки травмування.

5.2 Заходи щодо забезпечення техніки безпеки

З метою зменшення негативного впливу ПК на організм людини враховані вимоги при організації роботи за ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями») [37].

Приміщення з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ) оснащено аптечкою першої медичної допомоги.

Згідно ПУЕ (Правила улаштування електроустановок) , щодо небезпеки ураження людей електричним струмом, наше приміщення є: приміщенням без підвищеної небезпеки (сухе, добре опалювальне, з струмонепровідною підлогою, з температурою всередині приміщення 18-30°C, з вологістю 40-50%).

Щоб уникнути ураження електричним струмом все електрообладнання на робочому місці заземлюється за ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ «Захисне заземлення, занулення» [38].

Захисне заземлення, опір якого складає 4 Ом, забезпечує захист людей від ураження електричним струмом при дотику до металевих неструмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції.

Захисне заземлення виконано навмисним електричним з'єднанням металевих частин електроустановок з «землею» або її еквівалентом.

Захисному заземленню підлягають металеві частини електрообладнання, доступні для дотику людини і не мають інших видів захисту, що забезпечують електробезпеку [38].

Захисне заземлення електроустановок слід виконувати при:

- ⊖ при номінальній напрузі 380 В і вище змінного струму та номінальній напрузі 440 В і вище постійного струму - у всіх випадках;
- ⊖ при номінальній напрузі від 42 В до 380 В змінного струму та від 110 В до 440 В постійного струму при роботах в умовах з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних.

Заземлюючі пристрої, що використовуються для заземлення електроустановок відповідають всім вимогам, що пред'являються до заземлення цих електроустановок.

Матеріал, конструкція і розміри заземлювачів забезпечують стійкість до механічних, хімічних і термічних дій на весь період експлуатації.

Для вирівнювання потенціалів металеві будівельні та виробничі конструкції приєднані до мережі заземлення.

Згідно з ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила и норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» площа на одне робоче місце має бути не менше ніж $6,0 \text{ м}^2$, а обсяг - ніж $20,0 \text{ м}^3$, відповідно на три місця - не менше ніж $18,0 \text{ м}^2$, а обсяг – ніж $60,0 \text{ м}^3$.

Робоча поверхня встановлена з урахуванням характеру виконуваної роботи і має прямокутну форму. Висота сидіння і підставки для ніг (при нерегульованій висоті робочої поверхні). В цьому випадку висоту робочої поверхні встановлюють по номограмі залежності висоти робочої поверхні для різних видів робіт, простору для ніг і висоти робочого сидіння від росту людини (рис. 5.2.1) для робочого зі зростом 1800 мм.

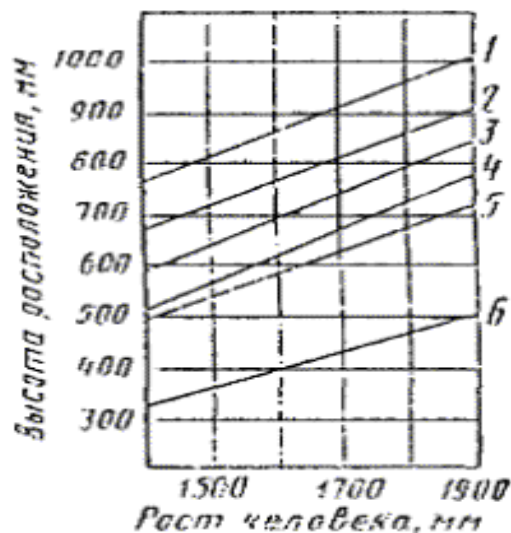


Рисунок 5.1 - Номограма висоти розташування та зросту людини

Таблиця 5.1 - Висота робочої поверхні, мм, при організації робочого місця

Назва роботи	Висота робочої поверхні, мм,		
	жінок	чоловіків	жінок і чоловіків
Організація роботи системи прийняття рішень при виникненні пожежної небезпеки	630	680	655

Оптимальна робоча поза для робітників більш низького зросту досягається за рахунок збільшення висоти робочого сидіння і підставки для ніг на величину, рівну різниці між висотою робочої поверхні для робітника зі зростом 1800 мм і висотою робочої поверхні, оптимальної для зросту даного робітника.

5.3 Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці

Випромінювання електромагнітного поля (ЕМП) може негативно вплинути на організм людини, таке як: втома, нудота, головний біль, дратівливість. Джерелами є мобільні телефони, ЕОМ з ВТД, радіоприлади. Час перебування людини в магнітному полі і напруженість більше 1,4 кА/м регламентується відповідно до ДСанПіН 3.3.6-096-2002 «Державні санітарні норми і правила [39]. Санітарні норми виробничого полів» показаний у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Час перебування людини в магнітному полі і напруженість

Час перебування персоналу, годин	1	2	3	4	5	6	7	8
Напруженість магнітного поля, кА / м	6,0	4,9	4,0	3,2	2,5	2,0	1,6	1,4
Магнітна індукція, мТл	7,5	6,13	5,0	4,0	3,13	2,5	2,0	1,75

Для вимірювань в діапазоні частот 300 МГц–300 ГГц використовуються прилади, призначені для визначення середніх значень щільності потоку енергії, з похибкою 40% в діапазоні частот 300 МГц - 2 ГГц і 30% в діапазоні частот понад 2 ГГц.

Відповідно до ГОСТ 12.1.006-84 «Електромагнітні поля радіочастот» [40], допустимі рівні на робочих місцях і вимоги до проведення контролю» вимірювання напруженості та щільності потоку енергії ЕМП проводяться не рідше одного разу на рік, а також в наступних випадках:

- ⊖ при введенні в дію нових установок;
- ⊖ при внесенні змін у конструкцію, розміщення і режим роботи діючих установок;
- ⊖ під час і після проведення ремонтних робіт, які супроводжуються зміною випромінюваної потужності;
- ⊖ при внесенні змін до засобу захисту від ЕМП;
- ⊖ при організації нових робочих місць.

Вимірювання напруженості або щільності потоку енергії ЕМП допускається не проводити у випадках, якщо: установка не працює в режимі випромінювання на відкритий хвилевід, антену або інший елемент, призначений для випромінювання ЕМП в навколишнє середовище, і її номінальна потужність згідно з паспортними даними не перевищує:

- ⊖ 2,5 Вт - в діапазоні частот від 60 кГц до 3 МГц;
- ⊖ 400 мВт - в діапазоні частот понад 3 МГц до 30 МГц;
- ⊖ 100 мВт - в діапазоні частот понад 30 МГц до 300 ГГц.

Приміщення для роботи з ВДТ мають природне і штучне освітлення відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення» [41].

Природне освітлення здійснюється через світлові прорізи, орієнтовані переважно на північ / північний схід і забезпечують коефіцієнт природного освітлення (КПО) вище 1,5%.

Штучне освітлення здійснюється системою загального рівномірного освітлення з додатковим використанням світильників місцевого освітлення.

Як джерела світла для штучного освітлення використовуються переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ і світильники типу ЛПО. У світильниках місцевого освітлення використовуються лампи розжарювання.

Віконні прольоти приміщень для роботи з ВДТ обладнані регульованими жалюзі і фіранками [41].

В таблиці 6.3 приведені норми освітленості робочих місць

Відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» [42] рівень звуку на робочих місцях перевищує 80 дБА.

Приміщення обладнане системою опалення та кондиціонування повітря відповідно до ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [42].

Підлогове покриття матове з коефіцієнтом відображення 0,3-0,5. Поверхня підлоги рівна, не слизька, з антистатичними властивостями.

Таблиця 5.3 – Норми освітленості робочих місць відповідають вимогам ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення»

Характеристика зорових робіт	Найменші розміри об'єкта відмінностей	Розряд зорових робіт	Підрозряд зорової роботи	Освітленість, ЛК		
				комбіноване		Загальна
				всього	В т.ч. загального	
Малої точності	Більше 1,0 до 5	V	а	400	200	300
			б	-	-	200
			в	-	-	200

У приміщеннях з ВДТ потрібно щодня проводити вологе прибирання.

Режим праці і відпочинку при роботі на ЕОМ з ВТД відповідає ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила и норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [37], для операторів ЕОМ за характером роботи, становить при 8 годинній робочій зміні– 15 хвилинні перерви для відпочинку кожні 2 години, при 12 годинній робочій зміні – протягом останніх 4 годин, кожену годину перерви протягом 15 хвилин. Задля уникнення надмірної втоми виконується активний відпочинок – виконання гімнастичних вправ, що сприяють м'язовому розслабленню і зняття нервової напруги.

5.4 Вплив використання постпроцесора на небезпечні та шкідливі фактори

В сучасному машинобудуванні великий обсяг деталей виготовляється на верстатах з числовим програмним керуванням. Робота на цих верстатах

передбачає розробку спеціальних керуючих програм. Для реалізації цих програм необхідне використання постпроцесору.

Керуючі програми для верстатів можуть бути написані в текстових редакторах чи на папері – ручний метод, або за допомогою спеціального програмного забезпечення. Використання програмного забезпечення при створенні керуючих програм значно полегшує та прискорює роботу, особливо це актуально для обробки деталей зі складним контуром. Як, ручний метод, так і програмний, мають певні недоліки та переваги.

Недоліки ручного написання керуючих програм:

- Витрачений час на роботу;
- Вплив на органи зору людини - можливе погане чи недостатнє освітлення робочого місця та приміщення;
- Погіршення уваги та сприйняття за рахунок монотонної зорової роботи;
- Нерівномірність розподілу яскравості у полі зору;
- Напруга зору і уваги;
- Статичні навантаження, що ведуть у свою чергу до порушення опорно-рухової системи людини.
- Втомлюваність організму під час монотонної роботи.

Переваги написання керуючих програм за допомогою використання програмного забезпечення:

- Значне зменшення часу, що витрачається на створення керуючої програми;
- Зменшення монотонної роботи та необхідних розрахунків, що призводить до меншої втоми організму;
- Завдяки скороченню часу збільшується концентрація уваги працівника та зменшується втомиваність;
- Різко зменшується кількість допущених помилок, внаслідок чого знижується можливість поломки інструменту, врізання в деталь, пошкодження верстата або завдання психологічних та механічних пошкоджень робітнику;

- Зі зниженням часу, що витрачається на виготовлення однієї деталі та написання відповідно керуючої програми, підвищується продуктивність;
- Пошкодження, що задаються опорно руховій системі значно знижуються.

Таким чином, можливо зробити висновок, що використання постпроцесора, має значний позитивний вплив на небезпечні та шкідливі фактори. Він значно скорочує час роботи працівника за комп'ютером, що у свою чергу введе до зниження пошкоджень, що отримує працівник. Таких як: пошкодження зору, напруження у спино-поясничному відділі, тощо. У той же час, використання постпроцесору призводить до підвищення рівня безпеки при роботі на верстаті. Це відбувається завдяки тому, що робітник може перевірити рухи верстата, оберти та повністю промодельовати обробку в програмі ще до встановлення деталі на верстат. При появі будь-яких помилок, робітник має можливість усунути їх і при цьому зберегти цілісність обладнання та виключити травмування робітників.

5.5 Заходи пожежної безпеки

Згідно НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежно небезпеки» [43] та ДБН В.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» [44] клас приміщення, в якому розташовані ВДТ, «А », а клас можливої пожежі в даному приміщенні -« Д ».

Заходи з пожежної безпеки виконані відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2004 - «Правила пожежної безпеки України». ГОСТ 12.2.037-78 (2001) ССБТ «Техніка пожежна. Вимоги безпеки».

Пожежна техніка повинна відповідати вимогам ДСТУ 3675-98 «Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань» [45], ДСТУ 3734-98 (ГОСТ 30612-99)

«Пожежна техніка. Вогнегасники пересувні. Загальні технічні вимоги», ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ «Пожежна безпека. Загальні вимоги».

Згідно «Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників» [46] приміщення оснащено вуглекислотним вогнегасником, ємністю 25 літрів.

Оператор ЕОМ проінструктований щодо використання вогнегасників відповідно до НАПБ Б.01.008-2004 «Правила експлуатації вогнегасників».

Проектування, виготовлення, монтаж, наладку і експлуатацію АУП слід проводити відповідно до вимог даного стандарту, нормативно-технічної документації та технічних умов на АУП конкретного типу.

Проходи і евакуаційні виходи передбачені відповідно до вимог ДБН В.1.1.7-2002 - «Пожежна безпека об'єктів будівництва» [44].

Системи оповіщення повинні бути розташовані відповідно до НАПБ А.01.003-2009 «Правила улаштування та експлуатації систем оповіщення про пожежу та управління евакуацією людей в будинках та спорудах» [47] та персонал повинен бути проінструктований відповідно до цього положення.

5.6 Організація навчання працюючого та непрацюючого населення діям у надзвичайних ситуаціях

Навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях здійснюється відповідно до Порядку здійснення навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 26 червня 2013 року № 444, та Організаційно-методичних вказівок з підготовки працюючого населення до дій у надзвичайних ситуаціях, затверджених 19 вересня 2013 року Головою Державної служби України з надзвичайних ситуацій (надалі – ДСНС України):

- за місцем роботи - працюючого населення;

- за місцем навчання - дітей дошкільного віку, учнів та студентів;
- за місцем проживання - непрацюючого населення.

Навчально-методичне забезпечення навчання населення здійснюється ДСНС разом з МОН. Навчання населення складається з навчання безпосередньо на підприємствах, за межами підприємств; під час проведення спеціальних об'єктових навчань і тренувань з питань цивільного захисту; самостійного вивчення та під час здобуття відповідного освітнього рівня у навчальних закладах системи освіти.

Організація навчання діям у надзвичайних ситуаціях покладається:

1. Працюючого та непрацюючого населення – на центральний орган виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, Раду міністрів Автономної Республіки Крим, місцеві державні адміністрації, органи місцевого самоврядування, які розробляють і затверджують відповідні організаційно-методичні вказівки та програми з підготовки населення до таких дій;

2. Дітей дошкільного віку, учнів та студентів – на центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері освіти і науки, який розробляє та затверджує навчальні програми з вивчення заходів безпеки, способів захисту від впливу небезпечних факторів, викликаних надзвичайними ситуаціями, з надання домедичної допомоги за погодженням з центральним органом виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту.

Порядок організації та проведення спеціальних об'єктових навчань і тренувань з питань цивільного захисту визначається Державною службою України з надзвичайних ситуацій. Програма навчання з питань пожежної

безпеки розробляється Державною службою України з надзвичайних ситуацій. Громадські організації та позашкільні навчальні заклади проводять навчання діям в умовах надзвичайних ситуацій згідно своїх програм.

Навчання працюючого населення здійснюється безпосередньо на підприємстві, в установі та організації згідно з програмами підготовки працівників до дій у надзвичайних ситуаціях, а також під час проведення спеціальних об'єктових навчань і тренувань з питань цивільного захисту. Навчання працюючого населення діям в умовах надзвичайних ситуацій є обов'язковим і проводиться в робочий час, за рахунок коштів роботодавця за програмами підготовки населення до дій в умовах надзвичайних ситуацій, а також на спеціальних об'єктових навчаннях і тренуваннях з питань цивільного захисту.

Для отримання працівниками відомостей про порядок дій в умовах надзвичайних ситуацій, з урахуванням особливостей виробничої діяльності об'єкта, обладнується інформаційно-довідковий куточок з питань цивільного захисту.

При прийнятті на роботу, а також щорічно, працівники проходять інструктаж з питань цивільного захисту, пожежної безпеки та дій в умовах надзвичайних ситуацій. Особи, які беруться на роботу, пов'язану з підвищеною пожежною небезпекою, попередньо проходять спеціальне навчання (пожежно-технічний мінімум).

Працівники, зайняті на роботах з підвищеною пожежною небезпекою, один раз на рік проходять перевірку знань нормативних актів з пожежної безпеки, а посадові особи, з метою допуску до виконання своїх обов'язків, а також періодично (один раз на три роки), проходять навчання і перевірку знань з питань пожежної безпеки.

Забороняється допускати до роботи осіб, які не пройшли навчання, інструктаж і перевірку знань з питань цивільного захисту, зокрема, з пожежної безпеки.

Непрацююче населення самостійно вивчає пам'ятки та інший інформаційно-довідковий матеріал з питань цивільного захисту, правила пожежної безпеки в побуті та громадських місцях, а також отримує, через засоби масової інформації, від органів державної влади або органів місцевого самоврядування необхідні відомості про надзвичайні ситуації, у зоні яких можуть виявитися непрацюючі громадяни, а також про способи захисту від впливу небезпечних чинників. Практичне закріплення теоретичного матеріалу здійснюється шляхом щорічного проведення Дня цивільного захисту.

Таким чином, у розділі було розглянуто потенційні небезпеки, що можуть виникнути під час виконанні робіт, а саме: ураження електричним струмом, нервово-психічні навантаження, недостатнє освітлення і т.д. Також було зазначено заходи по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії та гігієни праці. Була розрахована оптимальна кількість необхідного повітрообміну для приміщення площею 20 м², висотою приміщення 3 м та кількістю працівників 3 особи. Також розглянули заходи пожежної безпеки для нашого приміщення та класи пожежі, які можуть у ньому виникнути. В останньому розділі був розглянутий порядок організації навчання працюючого та непрацюючого населення діям у надзвичайних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

У роботі розглянуті особливості високошвидкісної обробки композиційних матеріалів для свердлення трубчатого заповнювача в панелях шумопоглинання.

Проаналізовано інструментальні матеріали, що доцільно використовувати при свердлінні композиційних матеріалів, геометрію та режими різання для обробки цих матеріалів.

1. Виконано огляд літератури з основ теорії високошвидкісної обробки з визначенням позитивних і негативних явищ при підвищенні швидкості різання.

2. Виконано аналіз умов ефективного застосування високошвидкісної обробки та факторів, які впливають на процес різання: верстат, ріжучий інструмент, інструментальний матеріал, умови різання, деталь.

3. Актуальність та аналіз методів оптимізації шпиндельних вузлів. Визначено вимоги до основних вузлів верстата.

4. Розраховано режими різання при свердленні композиційних матеріалів, зокрема полімер - сотопластів враховуючи умови обробки, розміри оброблюваних отворів.

5. Враховуючи діючі сили різання при свердленні надається розрахунок підшипників на довговічність.

6. Проведено розрахунок несучої здатності робота.

7. Запропоновано систему охолодження шпинделя для компенсації температурних деформацій верстата.

8. Проведено оцінку надійності компонентів мотор-шпинделя для високошвидкісної обробки.

9. Розроблено програмне забезпечення для високошвидкісного свердління отворів у композиційних – матеріалах.