

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри машинобудування,
мехатроніки і робототехніки
канд. техн. наук, доцент

_____ Андрій ГРЕЧКА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти на тему
**«Підвищення ефективності
механічної обробки наскрізних отворів»
«Increase of the efficiency of machining through holes»**

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу, групи ГМ-22М-З
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

_____ Зотов Р. А.

Керівник проекту
канд. техн. наук, доцент

_____ Володимир СВЯЦЬКИЙ

Рецензент
канд. техн. наук, доцент

_____ Тимофій РУДЕНКО

м. Кропивницький 2024

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет: механіко–технологічний

Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-наукова програма: «Галузеве машинобудування»

Завідувач кафедри машинобудування,
мехатроніки і робототехніки

канд. техн. наук, доцент

_____ Андрій ГРЕЧКА

05 лютого 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ за другим (магістерським) рівнем вищої освіти Зотову Родіону Анатолійовичу

1. Тема роботи: Підвищення ефективності механічної обробки наскрізних отворів

2. Керівник роботи: Свяцький Володимир Вячеславович

3. Строк подання роботи до захисту: 28 червня 2024 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи.

Мета: збільшення довговічності і надійності різального інструменту при свердлінні.

Завдання: обґрунтувати напрямок досліджень та актуальність теми; розробити методику експериментальних досліджень; розглянути умови збільшення продуктивності і визначити ефективні умови реалізації процесу свердління наскрізних отворів; опрацювати питання та виконати розрахунки з економічної частини.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
№ 4 «Економічна частина»	Журило І. В., канд. екон. наук, доцент	12.02.2024 р.	12.02.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури	25.03.2024 р.	
2	Проведення наукових досліджень, обробка фактичного матеріалу	20.04.2023 р.	
3	Написання першого варіанта тексту, подання його на ознайомлення керівникові	17.05.2023 р.	
4	Усунення недоліків, написання останнього варіанта тексту	15.06.2023 р.	
5	Перевірка роботи на плагіат	20.06.2024 р.	
6	Зовнішнє рецензування роботи	25.06.2024 р.	
7	Захист випускної кваліфікаційної роботи на засіданні екзаменаційної комісії	28.06.2024 р.	

Дата видачі завдання
05 лютого 2024 р.

Підпис керівника
_____ Свяцький В. В.

Завдання прийнято до виконання
05 лютого 2024 р.

Підпис здобувача
_____ Зотов Р. А.

АНОТАЦІЯ

Зотов Р. А. «Підвищення ефективності механічної обробки наскрізних отворів», спеціальність 131 «Галузеве машинобудування», ОНП «Галузеве машинобудування», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2024 рік.

Метою дослідження є Збільшення довговічності і надійності різального інструменту при свердлінні.

Розглянуті різні варіанти конструкції свердел для обробки вуглепластиків, проведено дослідження геометричних параметрів обраної конструкції інструменту та способів заточки різальної кромки. За допомогою моделювання інструментальної поверхні у середовищі AutoDesk Inventor розроблена 3D модель спірального свердла. Проведено дослідження впливу установчих параметрів на профіль вихідної інструментальної поверхні.

Шляхом теоретичних досліджень з'ясовано вплив факторів зменшення точності отворів, вплив швидкості, властивостей матеріалу, діаметра свердла, подачі та температури різання при обробці точних наскрізних отворів. Запропоновано для підвищення точності обробки наскрізних отворів в полімерних композиційних матеріалах схему різання із зміною подач.

комп'ютерне моделювання, свердло, інструмент, заточка, композиційний матеріал, ефективність

ANNOTATION

Rodion Zotov. "Increase of the efficiency of machining through holes", specialty 131 "Industrial engineering", ONP "Industrial engineering", Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2024.

The purpose of the study is to increase the durability and reliability of the cutting tool when drilling.

Various options for the design of drills for processing carbon plastics are considered, the geometric parameters of the selected tool design and ways of sharpening the cutting edge are studied. A 3D model of a spiral drill was developed using tool surface modeling in the AutoDesk Inventor environment. The influence of setting parameters on the profile of the initial tool surface was studied.

Through theoretical studies, the influence of factors reducing the accuracy of holes, the influence of speed, material properties, drill diameter, feed and cutting temperature during the processing of precise through holes has been clarified. To increase the accuracy of processing through holes in polymer composite materials, a cutting scheme with a change in feed is proposed.

computer simulation, drill, tool, sharpening, composite material, efficiency

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ РІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ	8
1.1 Аналіз оброблюваного матеріалу	8
1.2 Особливості обробки наскрізних отворів в волокнистих матеріалах.	12
1.3 Аналіз конструктивних елементів ріжучого інструменту	16
1.4 Вибір конструкції свердла.	21
2 ПРОЕКТУВАННЯ СПІРАЛЬНОГО СВЕРДЛА	22
2.1 Вибір матеріала свердла	23
2.2 Геометричні параметри свердла	24
2.2.1 Загальна характеристика	25
2.2.2 Вибір геометричних параметрів свердла та режимів різання	30
3 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА	41
4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СВЕРДЕЛ ЗІ ЗМІНЕНИМИ КУТАМИ ЗАТОЧУВАННЯ	49
4.1.1 Загальні вихідні дані	49
4.1.2 Визначення витрат на підготовку виробництва	50
4.1.3 Визначення експлуатаційних витрат (собівартості обробки)	52
4.1.4 Розрахунок показників економічної ефективності	57
ВИСНОВКИ	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	60

ВСТУП

Актуальність теми

Машинобудування є одною з головних галузей промисловості в якій широко використовуються композитні матеріали. Полімерний композиційний матеріал має комплекс властивостей, які дозволяють знизити масу конструкції виробу і при цьому покращити експлуатаційні характеристики, що набуло широкого вжитку в авіаційній та космічній промисловості.

Інструментальне виробництво – галузь машинобудування, яка виготовляє різальний інструмент та його технологічну оснастку. Вимоги, які висувають до інструментів, можуть бути забезпечені лише у разі виготовлення їх з відповідних матеріалів та, якщо вони мають оптимальну конструкцію та геометричні параметри. Інструменти з оптимальною конструкцією забезпечують високу продуктивність та якість виготовлених деталей, низький рівень експлуатаційних витрат, надійність роботи.

Тому інструментальне виробництво постійно розвивається, створюються нові форми різального інструменту для того, щоб спростити і покращити виробництво.

Мета дослідження

Збільшення довговічності і надійності різального інструменту при свердлінні.

Задачі дослідження

1. Аналіз матеріалу, що підлягає обробці та основні аспекти його обробки
2. Аналіз геометрії та конструкції свердла для обробки вуглепластику
3. Вибір оптимальної конструкції;
4. Визначення профілю інструмента другого порядку, для обробки гвинтових канавок свердла;
5. Розробка оснастки.

Об'єкт та предмет дослідження

Об'єктом дослідження є технологічний процес отримання наскрізних отворів в полімерних композиціях. Предметом дослідження є ріжучий інструмент для отримання отворів в полімерних композиціях.

Методи дослідження:

метод кінцевих елементів, візіопластичний метод.

Наукова новизна отриманих результатів

Отримали подальший розвиток теоретичні дослідження геометричних параметрів свердла та режимів різання наскрізних отворів в залежності від критичної осьової сили з унеможливленням утворення тріщин з подальшим розшаруванням композиційних матеріалів

Практичне значення отриманих результатів

Аналіз конструктивних елементів свердел для оброблення вуглепластика, враховуючи умови роботи, дозволив визначитися із конструктивним виконанням інструмента для свердління отворів. В якості матеріала різальної частини свердла прийнято швидкорізальну сталь підвищеної продуктивності P6M5K5, оскільки умовами роботи інструмента передбачено свердління отворів як на верстатах так і з використанням ручного електроінструмента.

Аналіз процесу тріщиноутворення, наслідком якого є розшарування, при свердлінні вуглепластика показав, що глибина початку розшарування при виході свердла залежить від осьової сили, яка, в свою чергу залежить від геометричних параметрів свердла та режимів його роботи.

Теоретичні дослідження впливу геометричних параметрів, режимів різання та величини зношування на глибину розшарування та шорсткість обробленої поверхні при свердлінні показав, що:

- кут при вершині свердла, величина зношування різальної кромки та подача найбільш сильно впливають на силові характеристики та глибину розшарування, викликаючи їх значне збільшення;
- передній та задній кути свердла викликають помірне зменшення осьової сили та значне зменшення глибини розшарування;

На підставі проведених досліджень прийнято геометричні параметри та режими різання, які дозволяють значно зменшити появу розшарування при свердлінні вуглепластика, при цьому, визначено дві величини подачі, які

Особистий внесок здобувача

Обґрунтування вибраного напрямку дослідження, постановка мети і задач дослідження, теоретичні дослідження впливу геометричних параметрів, режимів різання та величини зношування на глибину розшарування та шорсткість обробленої поверхні при свердлінні, аналіз результатів чисельних експериментів.

Особистий внесок магістранта відображено у наукових працях за його участю.

Апрабація результатів магістерської роботи

Основні результати дослідження доповідалися на LVIII науково-технічній конференції студентів ЦНТУ.

1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ РІЗУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ

1.1 Аналіз оброблюваного матеріалу

Вуглепластик (Carbon) – це полімерний композиційний матеріал, який складається з вуглецевих волокон і полімерної матриці, яка найчастіше представлена термореактивним полімером (частіше епоксидною смолою), яка під час формування виробів має пластичні властивості, а в періоді експлуатації – кристалічну структуру. Від матеріалу матриці залежать властивості композиту: міцність, тепло- і вологостійкість, стійкість до дії агресивних середовищ.

Компоненти композиційного матеріалу повинні мати властивості відмінні один від одного, але при цьому бути добре сумісними.

Враховуючи напрямок волокон всі композиційні матеріали діляться на дві групи: ізотропні та анізотропні. До ізотропних матеріалів відносяться ті, які мають однакові властивості в усіх напрямках. Властивості анізотропних матеріалів залежать від напрямку волокон у композиційних матеріалах [6].

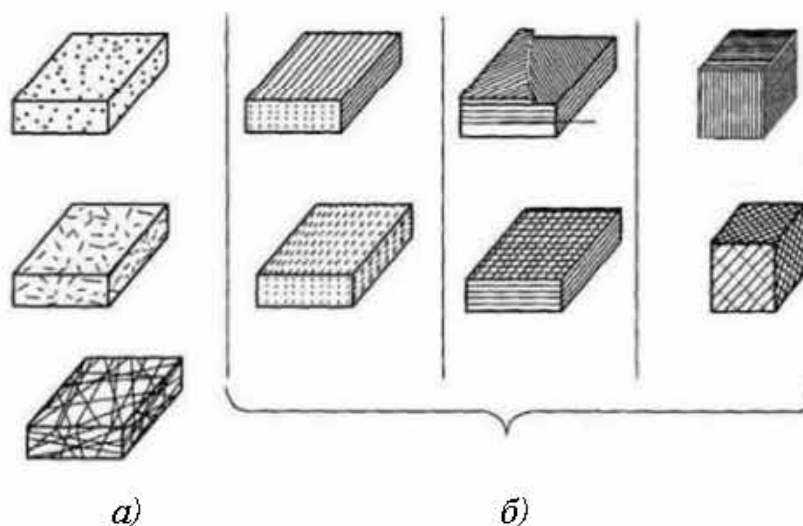


Рисунок 1.1 – Класифікація композиційних матеріалів з конструктивною ознакою [6]:

a – хаотичні, *б* – одномірні і просторово армовані (б)

Композиційні матеріали з матричною структурою діляться на хаотично-армовані і впорядковано-армовані (рис. 1.1).

Хаотично-армовані композитні матеріали містять елементи у вигляді дисперсних включень, дискретних або безперервних волокон. Ці матеріали є ізотропним або квазіізотропними. Термін квазіізотропний означає, що композит має анізотропні властивості в мікрообсязі, але ізотропні в цілому матеріалі. Впорядковано – армовані композитні матеріали поділяються на однонапрвленні (одновісноармовані), з площинним розташуванням арматури (двовісноармовані) та з об'ємним розташуванням арматури (тривісноармовані) [6].

Для збільшення міцності волокнистих полімерних композитних матеріалів було запропоновано виготовлення шаруватих композитів, коли листи композиту накладаються один на одного таким чином, що вуглецеві волокна розташовуються під різними кутами [2].

На рис. 1.2 зображений шаруватий вуглепластик, який складається з 4 (чотирьох) листів.

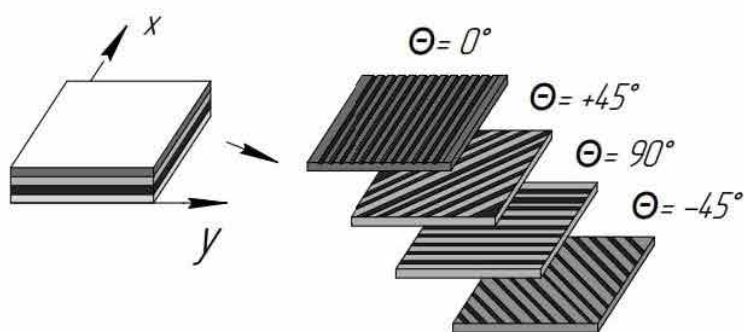


Рисунок 1.2 - Будова шаруватих волокнистих полімерних композитних матеріалів

В залежності від умов обробки вуглецеві волокна поділяються на карбонізовані та графітізовані. Виробництво вуглецевих волокон засновано на нагріві полімерів у інертному середовищі з подальшою термічною

деструкцією. Температура термічної обробки карбонізованих волокон складає 900-2000°C, аграфітизованих волокон – 3000°C. Для графітизації, як правило, використовують карбонізовані волокна [6].

Для отримання вуглеволокна використовують тільки волокнисті полімери, які не плавляться при термічній обробці. До них відносяться поліакрилонітрильні волокна (ПАН – В), гідратцеллозні волокна (віскозні, ГЦ - В), багаті вуглецем пеки та органічні волокна, отримані з фенольних смол [6].

Враховуючи, що вуглеволокно добре працює на розтяг і гірше на згинання та стиск найкращим способом його використання є полотно (Carbon Fabric).

Існує декілька видів плетінь полотна, які мають міжнародну назву. До них відносяться:

- полотно (Plain) – найбільш розповсюджений та щільний вид плетіння
- нитки утка та основи переплітаються 1x1;
- ялинка (Twill) найбільш універсальне полотно, яке використовують для тюнінгу автомобілів – нитки утка та основи переплітаються 2x2;
- сатин (Satin) саме пластичне з найменшою щільністю полотна – кожна нитка утка і основи проходить над декількома нитками утка та основи [9].

Переваги вуглепластиків [9]:

- легше сталі на 40%, легше алюмінія на 20%;
- висока межа міцності на розрив та межа пружності
- висока термостійкість – зберігає форму та властивості до температури 2000°C;
- висока вібростійкість та теплоємність;
- коррозійна стійкість;
- естетичність та декоративність матеріалу.

Недоліки вуглепластиків [9]:

- чутливість до точкових ударів;

- в місцях контакту з металом виникає корозія металу, тому в таких місцях роблять вставки з скловолокна;
- довгий та відносно не дешевий процес виготовлення;
- складність реставрації при сколах та подряпинах;
- для виключення факторів вицвітання та вигорання, необхідне покриття лаком чи емаллю;
- складність утилізації та повторного використання.

Звідси визначається галузь їх застосування. Найчастіше вуглепластик застосовується у космічній та авіаційній промисловості, а також в судо- та автомобілебудуванні, атомній та будівельній промисловості, вітроенергетиці, спорті та побуті, та у багатьох інших галузях промисловості.

Метою роботи є збільшення довговічності і надійності різального інструменту при свердлінні, при будові конструктивних елементів крила літака. Механічні властивості матеріалу наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 Механічні характеристики матеріалу

Характеристика	Величина
– щільність, кг/м^3	1600
– поздовжній модуль пружності, E_{11} , ГПа	181
– поперечний модуль пружності E_{21}	10,3
– коефіцієнт Пуассона ν_{12}	0,28
– межа витривалості на розтягнення(вздовж армуючих волокон), σ_{1t} , МПа	1500
– критична енергія тріщини утворення G_{12} , Дж/м ²	250

1.2 Особливості обробки наскрізних отворів в волокнистих матеріалах

Технологічна обробка деталей проводиться для досягнення достатньої точності та якості поверхні, якої потребує подальше використання деталей та конструкцій. Моделі з композиту найчастіше обробляються свердлінням. До них відносяться отвори під кріпильні елементи, а також наскрізні та глухі отвори для штифтів болтового з'єднання.

Як правило, точність отворів повинна відповідати 10-13 квалітету, параметр шорсткості поверхні $R_z = 10 \div 40$ мкм.

Якість отворів оцінюється шорсткістю поверхні отвору, хвилястістю, осьовою прямолінійністю, круглістю та циліндричністю.

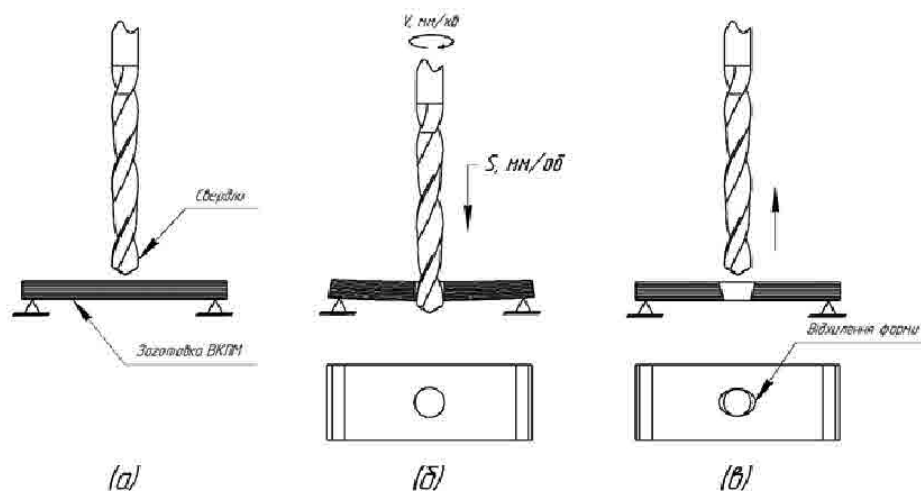


Рисунок 1.3 – Процес виникнення відхилення форми отвору[10]

У випадку свердління без опорної плити досить часто виникає відхилення форми отвору (відхилення круглості та циліндричності). Через високі пружні властивості вуглепластику, а також при свердлінні тонких заготовок спочатку відбувається прогин заготовки (рис.1.3 б), а при виході свердла заготовка пружно відновлюється. При цьому втрачається циліндричність і змінюється круглість отвору(рис.1.3 в) [10,с.36].

Крім цього є ще декілька специфічних дефектів, що виникають при свердлінні вуглепластику (див. табл. 1.2) [7,8,10].

Таблиця 1.2 Специфічні дефекти обробки вуглепластику

Вид пошкодження, що виникає при свердлінні	Причини, що сприяють виникненню пошкодження	Зовнішні прояви пошкодження	Варіанти уникнення пошкоджень
Розрив шарів на вході та виході (міжшарові тріщини), розшарування	Відсутність пластичної деформації, шарувата структура ВПКМ, наявність місцевої деформації ПКМ на згин, іноді низький зв'язок матриці та наповнювача, великі показники осьової сили свердління (перемичка не ріже, а видавлює оброблюваний матеріал [8]) Рівень розшарування залежить від величини осьового зусилля.	Порушення міцності та жорсткості виробу за рахунок розшарування країв отвору. Скупчення вологи в тріщинах(за рахунок високих вологовбирних властивостей ПКМ) призводить до деформацій отворів і деталей в цілому.	Зменшення або перерозподіл осьового навантаження від центру до периферії за рахунок удосконалення конструктивних та геометричних параметрів РК (зменшення величини поперечної кромки та головних РК, зменшення величини кута 2φ). Необхідно, щоб напрямок осьової сили сприяв стисканню між собою шарів композиту і не

			перевищував критичних величин (що досягається зниженням подачі)
Задири (коли не зрізаних волокон мало); волокнистість, якщо їх кількість 20-30% і вони виступають над обробленою поверхнею на величину, що перевищує 4-5 діаметрів волокон [2]	Виражена анізотропія властивостей ПКМ, високі абразивні властивості наповнювача, незрізання волокон нижніх шарів ПКМ через їх деформацію, свердління зношеним свердлом.	В отворі залишаються не зрізані волокна. У випадку наявності розпушувань необхідно додатково оцінювати ступінь ворсистості.	Свердління добре загостреним свердлом та корекція конструктивних та геометричних параметрів РК.

В процесі обробки різанням полімерних композиційних матеріалів відбувається виділення легких токсичних частинок матеріалу, пилу та газу, що потребує дотримання правил техніки безпеки [6].

1.3. Аналіз конструктивних елементів ріжучого інструменту

Свердло - різальний осьовий інструмент для обробки отворів в суцільному матеріалі або для розсвердлювання отворів, яке виконує два одночасні рухи: обертальний (головний рух різання) та поступальний (рух подачі), відповідно до ГОСТ 25751 [26].

Свердлом можливо виконувати як наскрізні отвори, так і глухі, можливо проводити як попередню обробку(з послідуочим зенкуванням, розверстуванням, нарізуванням різьб) так і кінцеву обробку [26].

Виділяють дві групи свердел: з наявністю поперечної різальної кромки (спіральні, перові та ін) та без кромки (кільцеві і трубчасті свердла.). Наявність поперечної кромки забезпечує достатнє центрування свердла, але збільшує осьову силу. А її відсутність значно зменшує осьову силу (до 50%), але відчутно погіршує центрування свердла, що впливає на якість обробки отворів.

Свердла першої групи, враховуючи призначення та особливості конструкції поділяють на:

- спіральні;
- перові;
- свердло для глибокого свердління (гарматне);
- головки для кільцевого свердління;
- спеціальні комбіновані.

В даній роботі розглядаються питання проектування та виготовлення спірального свердла діаметром 10 мм. Свердла такого діаметру виготовляються тільки з циліндричним хвостовиком.

Свердло складається з робочої та хвостової частин.

Робоча частина включає різальну кромку, яка зрізує матеріал заготовки та калібруючу частину, яка включає стрічку, що відповідає за правильне центрування свердла та зменшення тертя бокової поверхні свердла.

Хвостовик з повідком. Хвостовик потрібен для вставки свердла в отвір шпинделю верстата. Лапку використовують для точної правильної установки свердла.

Шийка – перехідна частина між хвостовиком і різальною частиною. Слугує для нанесення маркування свердла, а також вона покращує вихід абразивного круга під час заточування свердла (рис. 1.4) [1,с.138]

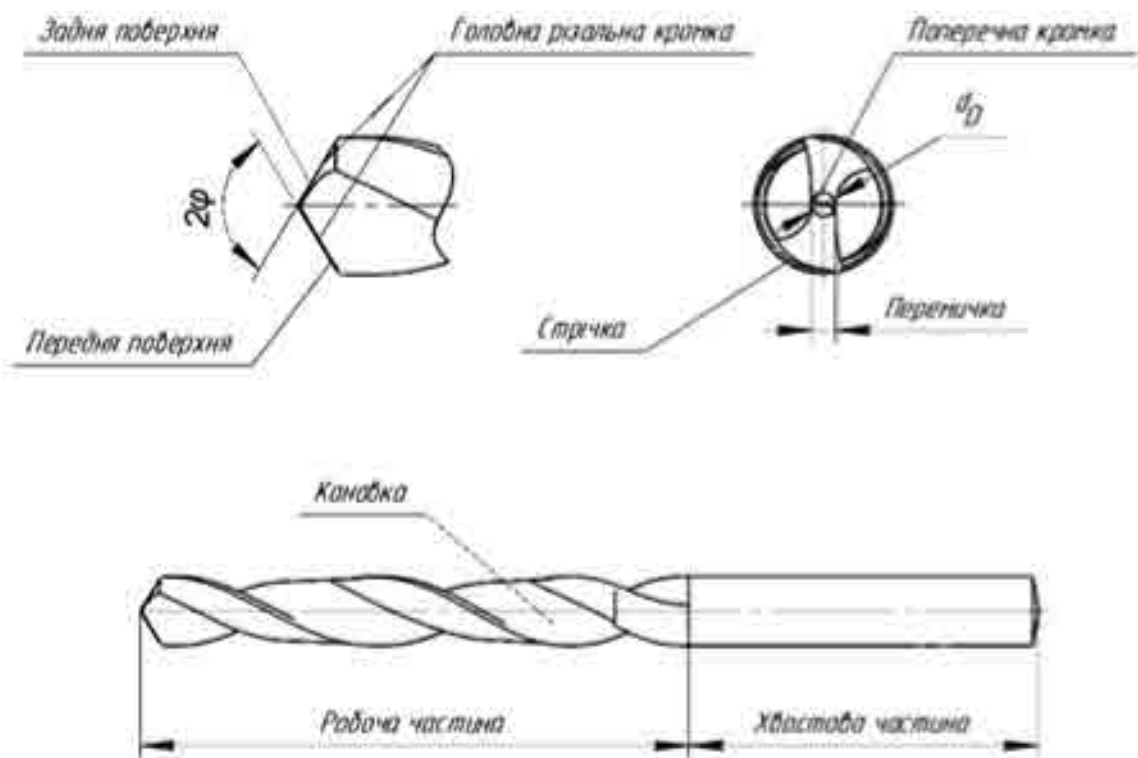


Рисунок 1.4 – Конструктивні елементи свердла

Складові різальної частини: на пересіченні двох передніх поверхонь A_y , з двома задніми поверхнями A_x , утворюються дві головні різальні кромки. Передня поверхня має форму гвинтової канавки та слугує для сходу стружки в процесі обробки матеріалу. Форма задньої поверхні може бути різною. Може мати вигляд площини або гвинтової поверхні і залежить від способу загострення свердла. Гвинтова форма сприяє більш раціональному розподілу значень задніх кутів φ і утворенню більш опуклої поперечної кромки свердла, що покращує навантаження свердла при роботі [1, с.139 -140].

Також свердло має поперечну різальну кромку – перемичку, яка утворена перетином обох задніх поверхонь. Її форма визначається формою задніх поверхонь. Найчастіше це форма опуклої або прямої лінії. Вона забезпечує достатнє центрування свердла, а значить, необхідну точність обробки, але при цьому значно збільшується осьове навантаження.

Відсутність поперечної різальної кромки на 50% і більше зменшує осьову силу, але значно погіршує центрування свердла, що супроводжується зниженням якості обробки та форми оброблюваного отвору.

Дві допоміжні ріжучі кромки, утворюються перетином передніх поверхонь з поверхнею двох стрічок свердла f , шириною від 0,5 до 2 мм. Стрічка являє собою ділянку на циліндричній поверхні свердла, розташовану уздовж гвинтової канавки. Вона забезпечує центрування свердла в оброблюваному отворі під час різання і тільки на початку процесу різання (на довжині, що дорівнює 0,5 значення подачі) стрічка працює, як допоміжна ріжуча кромка.

При обробленні ПКМ для достатнього зниження тертя рекомендована ширина стрічки не більше 0,5 мм [3].

Дві спинки зубця являють собою поверхню, яка розташована відразу за стрічкою на боковій поверхні свердла. Вона має зниження на 0,5...1,5 мм відносно зовнішнього діаметру свердла для того, щоб у процесі роботи зменшити тертя об поверхню вже утвореного отвору і як наслідок зменшення теплоутворення [1, с. 138].

Також для зменшення тертя роблять потоншення на стрічках у напрямку хвостовика, так звана зворотна конусність (0,03 — 0,12 мм на 100 мм довжини). Розмір потоншення залежить від діаметра свердла.

Для зменшення зусиль різання та підвищення жорсткості і міцності інструмента збільшують діаметр серцевини до $(0,35 - 0,5)D$ діаметра свердла з обов'язковою підточкою перемички. Завдяки підточуванню також поліпшується процес стружкоутворення.

Особливості процесу різання полімерних композиційних матеріалів вимагають застосовування особливої конструкції свердла для обробки отвору достатньої точності та якості. Головною проблемою, яку потрібно вирішити, є зниження значень осьової сили або перерозподіл її в зоні різання від центру до периферії для зниження ефекту розшаровування композиту [7, с. 48].

Розроблені та застосовуються для обробки наступні конфігурації різальної кромки свердла (рис. 1.5-1.8).

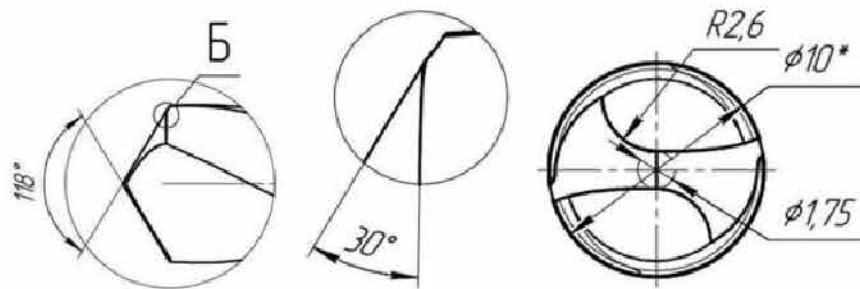


Рисунок 1.5 - Звичайна заточка свердла без підточки різальної кромки

Їх перевагою є відносно просте виготовлення та низька собівартість. Такий тип заточки найчастіше використовують в операціях, які не потребують високої точності.

Недоліком таких свердел є досить часто виникаюче зміщення свердла під час врзання, що потребує додаткового виконання центровочних отворів або застосування кондукторних втулок.

Підточка поперечної різальної кромки (рис. 1.6) виконується для покращення її роботи та кращого центрування свердла. Зазвичай поперечна різальна кромка виконується з конічною задньою поверхнею і має велике значення негативного переднього кута. При заточці різальної кромки по двох площинам з підточкою перемички коливання значень кута γ значно менші. Для свердел зі швидкорізальної сталі кут при вершині $2\phi = 100-120^\circ$ [2, с.189-190].

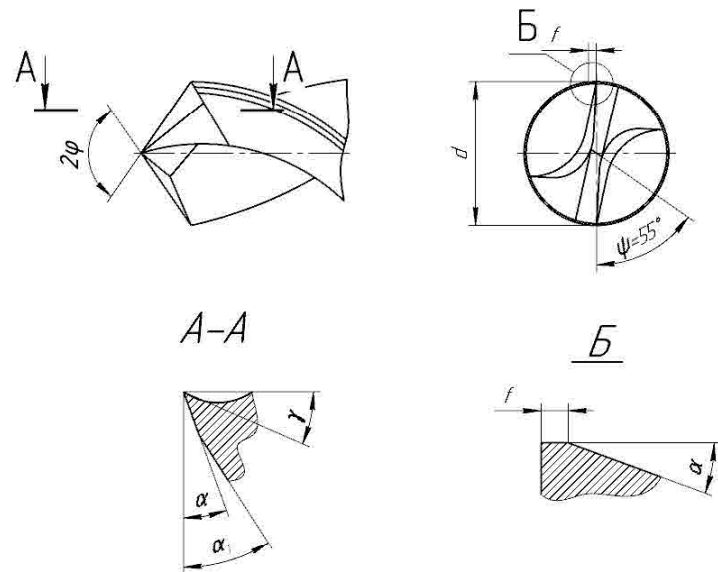


Рисунок 1.6 - Нормальна заточка з підточкою поперечної кромки та стрічки

З метою підвищення стійкості швидкорізальних свердлів при обробці реактопластів застосовують подвійне заточення ріжучої частини з кутами $2\varphi = 35-70^\circ$, і $2\varphi = 100 - 120^\circ$ (рис. 1.7). Виконується по стандарту DIN 1412 Form D [7,с.49].

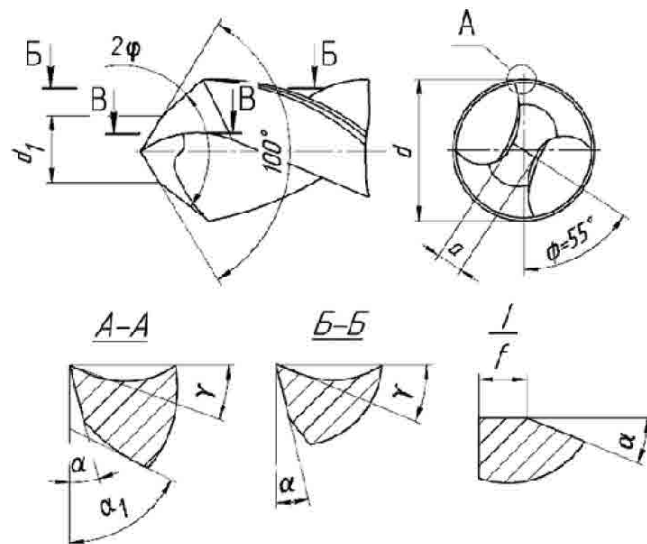


Рисунок 1.7 – Подвійна заточка з підточкою поперечної кромки

Зменшений периферійний кут при вершині, зменшує явища зносу інструменту та вірогідність появи задирок, підвищує якість отвору. Також зміна напрямку різальної кромки змінює напрям сходу стружки і таким чином покращує процеси дроблення стружки [2, с 190].

Для вирівнювання навантаження вздовж різальної кромки від центру (де воно максимальне) до периферії, автори [4, с. 69] пропонують використовувати свердло з різної форми підрізаючими кромками (прямолінійними, ламаними, вигнутими, криволінійними) (рис. 1.8).

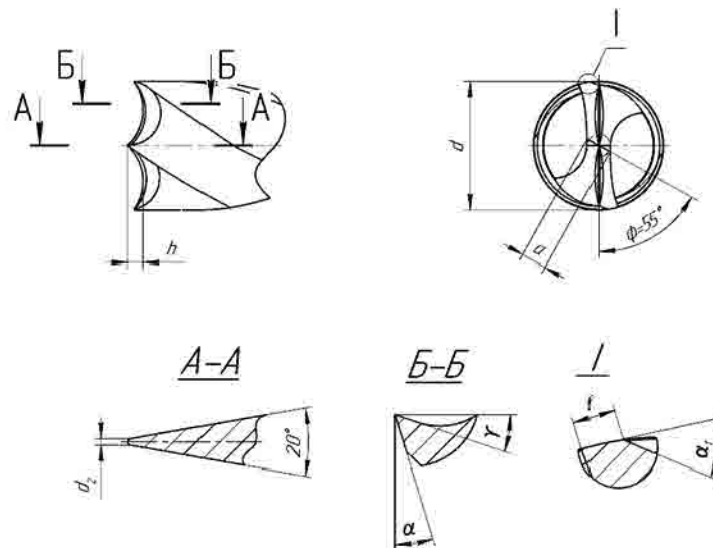


Рисунок 1.8 – Свердло спіральне з підрізаючими кромками

Форма різальних кромок свердла з підрізаючими кромками складається з двох зон. Перша – центральна, включає всі ознаки стандартного свердла, друга – периферійна, являє собою частину ріжучої кромки свердла з прямолінійними підрізаючими ріжучими кромками. Експериментально доведено, що не залежно від форми різальної кромки свердла з підрізаючими різальними кромками мають менші значення осьової сили та крутного моменту.

Разом з тим свердла з прямими підрізаючими кромками в момент врізання погано центруються і сковзаються по поверхні. Свердла, які мають виступаючу центральну частину та характеризується кутом φ , відрізняються плавністю врізання та значно кращою якістю обробленої поверхні [22, с.24].

Перевага таких свердел доказана експериментально і полягає в перерозподілі товщини припуску між підрізаючими та центральними ріжучими кромками, що дозволяє збільшити подачу, не викликаючи при цьому розпарування. А якщо розпарування і виникає, то воно знаходиться в центрі радіусу отвору, а на периферії якість обробки отвору досить висока. [7, с. 49]

Аналіз зміни кутів γ_N в цих свердлах показує, що від'ємні значення кутів в центрі значно менші, ніж у стандартних свердлах, що пояснює зниження силових характеристик при свердленні композиту.

Значення заднього кута коливається в залежності від марки оброблюваного матеріалу і форми заточки задньої поверхні: для реактопластів ці межі складають $\alpha=14-30^\circ$. Кут нахилу гвинтових канавок рекомендують збільшувати зі збільшенням діаметра свердла в межах $\omega=8-20^\circ$ [2, с.79].

Недоліком такої заточки є складність формоутворення поверхні і досить висока трудомісткість процесу заточки. Але при цьому суттєво збільшується стійкість свердла і значно покращується якість обробки отвору [4, с.69]

1.4. Вибір конструкції свердла

Виходячи з аналізу оброблюваного матеріалу, переваг та недоліків різних форм заточки різальної кромки для подальшого дослідження обираємо конструкцію свердла зі швидкорізальної сталі з циліндричним хвостовиком та з нормальною заточкою різальної кромки з підточкою поперечної різальної кромки.

2 ПРОЕКТУВАННЯ СПРАЛЬНОГО СВЕРДЛА

2.1 Вибір матеріала свердла

Різальну частину свердла виготовляють з різних інструментальних матеріалів, які обирають з урахуванням фізико – механічних властивостей оброблюваного матеріалу.

Для обробки деталей з вуглепластика виділяють наступні типи інструментальних матеріалів: швидкоріжуча сталь, твердий сплав, твердий сплав з покриттям та надтверді матеріали.

До швидкорізальних відносяться: сталі нормальної продуктивності та високолеговані сталі, твердість яких отримують в результаті термічної обробки, коли відбувається виділення зміцнюючих фаз (складних карбідів хрому, ванадію, молібдену). Найчастіше при обробці полімерних композиційних матеріалів використовують швидкорізальні сталі марок Р6М5, Р6М5К5, Р18 та з покриттям нітриду титану (TiN).

Р6М5 та Р18 відносяться до групи сталей нормальної продуктивності. Сталь Р6М5 має більшу пластичність в порівнянні з вольфрамовими сталями, але вона менш технологічна при термічній обробці, т.я більш схильна до знеуглецювання [21, с. 14-15]. Сталь Р6М5К5 відноситься до швидкорізальних сталей підвищеної продуктивності за рахунок додаткового легування кобальтом і використовується в умовах високого розігріву ріжучої кромки. Склад ІПС та деякі їх властивості див табл. 2.1.

Основними недоліками свердел зі швидкорізальної сталі є інтенсивний знос різальної кромки, низька теплопровідність та адгезійна взаємодія з волокнистими полімерними композиційними матеріалами. Ці явища можуть стати причиною підвищення температури в зоні різання, налипання матричної суміші на поверхню різальної кромки.

Сталь Р18 за рахунок великого проценту вмісту вольфраму

використовується рідко по причині високої ціни.

Всі марки мають здатність зберігати твердість при високих температурах, відмінно тримають ударні навантаження, добре обробляються на шліфувальних станках, тримають заточку.

Таблиця 2.1 - Склад та властивості швидкорізальної сталі, що використовуються для обробки композиційних матеріалів [21, табл.4].

Марка матеріала	Хімічний склад, %						Теплостійкість, °C	Механічні властивості	
	C	W	Cr	V	Mo	Co		σ_{32} , МПа	HRC
P18	0,7-0,8	17-18,5	3,8-4,4	1,0-1,4	1,0	-	600-620	2600-3000	60-62
P6M5	0,8-0,9	5,5-6,5	3,8-4,4	1,7-2,1	1,0	-	600-620	2900-3400	63-64
P6M5K5	0,84-0,92	5,7-6,7	3,8-4,3	1,7-2,1	4,8-5,3	4,7-5,2	700-720	2600-3000	69-70

До твердих сплавів відносяться матеріали на основі сплавів карбідів вольфраму, титану і танталу, зв'язаних кобальтом (ВК6, ВК6-М, ВК8), які отримують методом порошкової металургії. Вони мають досить високу ступінь стійкості до абразивного зношування і можуть працювати при температурі нагріву до 750 – 1100 С. Отже, інструментом із твердих сплавів можна обробити не тільки більшу кількість матеріалу в порівнянні з інструментом із швидкорізальної сталі, але й збільшити продуктивність обробки (за рахунок збільшення швидкості обробки) [21, с. 17].

Недоліком твердосплавних свердел вольфрамо – кобальтової групи є їх чутливість до ударних навантажень (підвищена крихкість), яка тим більша, чим менший вміст кобальту у сплаві. Після свердлення 2000 – 2500 отворів

виникає крихке пошкодження свердла, яке виключає повторне переточування. Такого характеру пошкодження пояснюються тим, що ці свердла менше відводять тепло, у порівнянні з швидкорізальними і також не витримують биття, яке виникає при зажимі свердла в цангу.

Алмазні свердла мають найбільшу стійкість до абразивного зношування, але вони надзвичайно крихкі. Тому їх використовують обмежено, разом з підкладкою із швидкорізальної сталі або твердого сплаву, для зменшення вірогідності крихкого руйнування. Хвостовики свердел, а також хвостовики і корпус у свердел, оснащених твердим сплавом (ВК6, ВК6-М тощо), виготовляють із конструкційної легованої сталі 45Х та 40Х.

Незважаючи на те, що свердло, виготовлене з твердого сплаву забезпечує більш високу продуктивність обробки, свердло із ШС має більш виражені пластичні властивості. Воно зберігає досить високі показники твердості (до 70 HRC) та теплостійкості 600-650°C, зберігаючи при цьому високий рівень крихкої міцності та в'язкості, значно більший ніж у свердел з твердого сплаву. Пластичність дає можливість використання свердла із ШС не тільки в верстатному виробництві, а й для ручної дрелі, що є важливим фактором для ремонтного виробництва.

Крім цього, свердла із швидкорізальної сталі досить технологічні, тому що якісно обробляються тиском і різанням у відпаленому стані [21, с. 19].

Також вагомою перевагою для використання швидкорізальної сталі є її нижча вартість.

В роботі в якості матеріала свердла приймаємо швидкорізальну сталь підвищеної продуктивності марки Р6М5К5 за ГОСТ 19265, яка використовується для різання важкооброблюваних матеріалів і титанових сплавів. Вона характеризується зниженим вмістом вуглецю, але значно більшою кількістю легуючих елементів, твердість HRC 69 – 70 і теплостійкість 700 – 720°C [21].

2.2 Геометричні параметри свердла

2.2.1 Загальна характеристика

Геометричні параметри свердла мають суттєвий вплив на стійкість інструменту, а отже впливають на осьове навантаження та зусилля різання, які чітко пов'язані з якістю обробки отворів. Тому вибір оптимальних величин має велике практичне значення.

До основних геометричних параметрів спірального свердла відносять:

- γ – передній кут на головній різальній кромці;
- α – задній кут на головній різальній кромці;
- ω – кут нахилу гвинтової канавки;
- ψ – кут нахилу поперечної кромки.

Кут $\square$ – кут нахилу поперечної кромки відносно головної різальної кромки, виміряний у площині, перпендикулярній до осі свердла. Для спірального свердла діаметром до 15 мм кут $\square$ дорівнює 50 - 55°.

Кут нахилу гвинтової канавки $\square$ вимірюється на зовнішньому діаметрі свердла між віссю свердла і дотичною до гвинтової лінії і залежить від діаметру свердла. В середньому цей кут дорівнює 30°. Для кожної окремої точки кромки свердла кут ω різний. Від величини кута $\square$ залежить форма стружки і її відведення з канавки. При малих кутах стружка утворюється у вигляді довгих стрічок і погано просуваються по канавці, застрягає і може спричинити поломку свердла [1, с.141].

Кут ϕ виконує роль головного кута в плані і визначає продуктивність та стійкість свердла. Для свердел задають подвійний кут 2ϕ . Він утворюється пересіченням головних різальних кромки. Для стандартного спірального свердла його величина дорівнює 118°. Кут 2ϕ впливає на складові сили різання. З його збільшенням зростає осьова сила P_x (сила подачі) і знижується крутний момент різання (сила P_z).

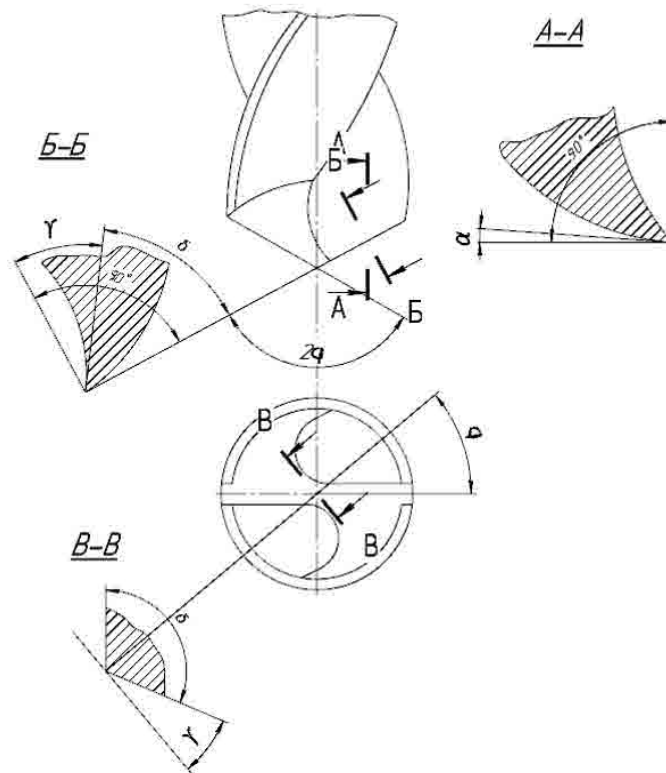


Рисунок 2.1 – Геометричні параметри спірального свердла

Кут ϕ призначається з урахуванням властивостей оброблюваного матеріалу, керуючись досвідом експериментальних досліджень та практичних напрацювань.

Передній кут γ дозволяється виміряти:

- у площині паралельній до осі свердла;
- у площині перпендикулярній до різальної кромки.

У стандартного свердла величина переднього кута змінна вздовж різальної кромки і зменшується по напрямленню до осі свердла. Тому, кут γ , який вказується в технічній документації вимірюють в площині дотичній до зовнішнього діаметру свердла і в такому випадку він еквівалентний куту нахилу гвинтової канавки ω .

У зв'язку з тим, що передня поверхня не плоска, а гвинтова, вимірювання переднього кута в площині перпендикулярній до різальної кромки (γ_N) ускладнено та потребує спеціального обладнання.

Передній кут γ для οποї точки різальної кромки розраховуємо за формулою:

$$\operatorname{tg} \gamma_i = \frac{H}{2\pi r_i}$$

де H – крок гвинтової канавки свердла, мм;

r_i – радіус, на якому розташована досліджувана точка, мм. [1, с.143]

Задній кут φ утворюється на ріжучій частині свердла на головних і поперечних ріжучих кромках. Він змінний вздовж різальної кромки і залежить від способу заточки задньої поверхні. Вимірюють його в площині перпендикулярній до різальної кромки і позначають α_N .

У спіральних свердел із швидкорізальної сталі задній кут $\alpha=8-14^\circ$ - на периферії свердла і $\alpha=20-26^\circ$ ближче до центру свердла [1, с.142].

Збільшення величини номінального заднього кута знижає стійкість інструмента через зниження міцності леза, а також при свердленні призводить до збільшення діаметру отвору, як у вуглепластиках так і в титановому сплаві.

У процесі різання передні і задні кути змінюються і відрізняються від кутів заточування. Їх називають кінематичними або дійсними кутами різання. Найбільше значення при свердлінні має кінематичний задній кут.

Враховуючи розповсюдженість вуглепластиків на різних виробництвах, питання удосконалення геометричних параметрів ріжучої частини свердла поставало перед багатьма дослідниками.

Розглянемо декілька таких варіантів досліджень.

Штучний Б.П. [12, с.77] вказує на те, що головним параметром, який впливає на продуктивність та стійкість свердла при обробці реактопластів є кут при вершині. При значенні кутів $2\varphi = 30-60^\circ$ осьова складова мінімальна, а крутний момент максимальний. Такі свердла застосовують для свердління не глибоких (2-2,5D) отворів, через короткотривалу роботу свердла, невисоку температуру його нагріву і видалення стружки з канавок після свердління кожного отвору. Зі збільшенням глибини

свердління кут також треба збільшувати до $2\varphi = 70-90^\circ$. Для реактопластів (до яких відноситься і вуглепластик) рекомендована подвійна заточка їх ріжучої частини з кутами $2\varphi = 35 — 70^\circ$ та 120° . Рекомендовані значення задніх кутів для реактопластів в залежності від марки оброблюваного матеріалу знаходяться в межах $12-24^\circ$, а передній кут $\gamma = 10-15^\circ$. Кут нахилу гвинтових канавок збільшується зі збільшенням діаметра свердла. В середньому кут $\omega = 30^\circ$.

Крім геометричних параметрів на процес свердління має свій вплив величина подачі та швидкість різання. При малих значеннях подачі (до $S=0,1\text{мм/об}$) шорсткість обробленої поверхні мінімальна, але через тертя відбувається інтенсивний нагрів інструменту. Збільшення величини подачі призводить до збільшення осьової складової сили різання і виникнення розшарувань, сколів, зниження якості обробки а також зменшенню діаметру отвору (усадки) після виходу свердла із отвору.

Тому експериментальним способом був встановлений діапазон рекомендованих подач, в межах якого зміни під час обробки отворів мінімальні (табл. 2.2) [12,с.79].

Таблиця 2.2 - Рекомендовані значення подач при свердлінні реактопластів свердлами із швидкорізальної сталі [12,табл.27]

Шорсткість Ra, мкм	Подача, мм/об
2,5-4	0,1-0,2
4-5	0,15-0,3
5-7,5	0,15-0,3
7,5-10	0,2-0,4
Більше 10	0,3-0,8

Рекомендована швидкість свердління для складає $0,3- 0,5 \text{ м/с}$ [12,с. 79].

В монографії [2,с.113-114] автори доводять, що головним фактором чистоти поверхні при свердленні вуглепластиків, незалежно від вибраного інструментального матеріалу, є абразивний знос інструменту. Абразивному зношуванню піддається поперечна різальна кромка, задня поверхня головних ріжучих кромок, вершина та допоміжні різальні кромки. Інтенсивність зносу по задній поверхні збільшується зі збільшенням швидкості різання через підвищення температури в зоні різання. Мала подача, за рахунок тривалого контакту інструменту з заготовкою сприяє підвищенню температури, а отже – підвищує процеси зношування інструменту. При великих подачах, великі навантаження призводять до швидкого руйнування та викришування ріжучих кромок.

При побудові літаків, діаметр свердел на практиці не перевищує 10 мм і на думку L. M. Duraо [12, с.108] швидкість різання є найбільш вагомим фактором, який впливає на відсутність різного роду пошкоджень і може змінюватися від 25 м/хв для свердел із швидкорізальної сталі до 150 м/хв. Подача на його думку повинна бути настільки низькою, наскільки це можливо для реалізації конкретної технологічної операції, в середньому від 0,025 до 0,1 мм/об.

Збільшення величини переднього кута – збільшує вірогідність розшарувань на вході свердла та призводить до зменшення крутного моменту та осьової сили різання. Величина рекомендованого кута $\gamma = 6^\circ$ для свердел з швидкорізальної сталі та твердосплавних. Зменшення розшарування на виході свердла з отвору досягається зміщенням точки прикладання осьової сили від центру до периферії отвору. Цю задачу вирішують зменшенням величини кута при вершині та застосуванням спеціальних форм заточки різальної кромки.

Рекомендовані кути при вершині для свердлення волокнистих полімерних композиційних матеріалів приймають: $2\varphi = 90^\circ$ та $125^\circ - 130^\circ$ [2, с.138].

2.2 Вибір геометричних параметрів свердла та режимів різання

Від раціонального вибору геометричних параметрів та режимів оброблення, як зазначають різні автори в своїх роботах [2-5, 7, 8, 10, 13, 15, 16, 22, 24, 25], залежить якість отриманих отворів в композиційних матеріалах. Як зазначалося вище, геометричні параметри свердла та режими різання ним, змінюються в широкому діапазоні величин, тому, постає задача вибору раціональних параметрів процесу свердління.

В роботі [25] Хавін Г. Л. дослідив процес появи тріщини розшарування на виході свердла при свердленні вуглепластику Т300/5208 та визначив залежність осьової сили різання від величини початку утворення тріщини розшарування на відстані h від краю виходу свердла із заготовки.

Автор дослідив, що при наближенні свердла до виходу із заготовки міцність шарів матеріалу знижується і не може забезпечувати достатню протидію осьовій силі свердла. Під її впливом шари вуглепластику починають прогинатися, а при перевищенні міжшарової міцності виникає тріщина з подальшим розшаровуванням (див. рис. 2.3).

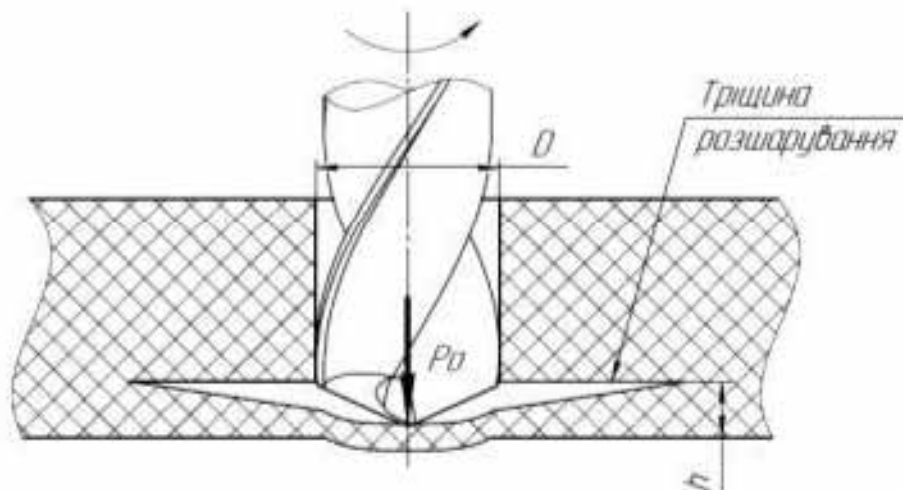


Рисунок 2.3 - Схема утворення міжшарової тріщини

На основі ізотропної та лінійної моделі кругового розшарування, автори [25, с.278] сформулювали формулу критичної осьової сили при якій запускається процес утворення тріщини з подальшим розшаруванням, яка визначається за формулою:

$$P_o = \pi \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot G_{IC} \cdot E \cdot h^3}{3 \cdot (1 - \nu^2)}},$$

де ν - коефіцієнт Пуассона; E - модуль пружності, Па;

G_K – критичне значення енергії тріщиноутворення, Дж/м².

В роботі [24] визначені сила різання та крутний момент, що діють на свердло, при обробленні вуглепластиків:

– осьова сила (сила подачі)

$$P_o = C_P \cdot D^{x_P} \cdot s^{y_P} \cdot K_P,$$

– крутний момент (момент опору) $M_{кр} = C_M \cdot D^{x_M} \cdot s^{y_M} \cdot K_M$

$$M_{кр} = C_M \cdot D^{x_M} \cdot s^{y_M} \cdot K_M, \quad (2.4) \text{ де } C_P, x_P, y_P -$$

коефіцієнт та показники ступеня на силу різання [24];

C_M, x_M, y_M – коефіцієнт та показники ступеня на крутний момент [24];

D – діаметр свердла;

v – швидкість різання;

s – подача на оберт.

K_P – поправочний коефіцієнт на осьову силу різання [24]:

$$K_P = K_{Ph} \cdot K_{P\phi\phi} \cdot K_{P\alpha} \cdot K_{Py},$$

K_{Ph} – в залежності від зношеності задньої поверхні свердла;

$K_{P\phi\phi}$ – в залежності від кута при вершині;

$K_{P\alpha}$ – в залежності від заднього кута на вершині;

K_{Py} – в залежності від переднього кута на вершині

K_M – поправочний коефіцієнт на крутний момент [24]:

$$K_M = K_{hM} \cdot K_{\phi\phi M}, \quad (2.6)$$

K_{hM} – в залежності від зношуваності задньої поверхні свердла;

$K_{\phi M}$ – в залежності від кута при вершині

Величина h , величини початку утворення тріщини розшарування, яка відповідає значенню критичної сили появи розшарування [25 с.279]:

$$h = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot (1 - \nu^2)}{8 \cdot G_{IC} \cdot E \cdot \pi^2} (C_z \cdot d^m \cdot s^n \cdot K_P)^2},$$

Окрім того, проводилося дослідження впливу геометричних параметрів свердла та режимів різання на шорсткість обробленого отвору, яка визначалась залежністю [24, с.279]:

$$R_z = C_{RZ} + mv + x_{RZ} \cdot D + y_{RZ} \cdot s,$$

де C_{RZ} , m , x_{RZ} , y_{RZ} – коефіцієнти на шорсткість оброблення [24].

Для вибору оптимальних геометричних параметрів та режимів різання проведено дослідження свердла діаметром 10 мм з нормальною заточкою та підточкою різальної кромки.

На основі рекомендацій наведених вище, в тому числі Штучним Б.П. та Степановим О.О. [24], величини геометричних параметрів та режимів оброблення при свердлінні вуглепластиків оптимальних геометричних параметрів та режимів різання, попередньо визначаємо межі значень досліджуваних параметрів (див. табл. 2.3).

Таблиця 2.3 -Рекомендовані межі значень параметрів свердел для обробки вуглепластиків.

Межі	$2 \varphi, ^\circ$	$\alpha ^\circ$	$\gamma ^\circ$	s,мм/об	V,м/с
Верхня	120	30	30	0,6	0,8
Нижня	90	10	5	0,04	0,05

Дослідження геометричних параметрів проводилося на підставі вищенаведених залежностей.

Аналіз отриманих результатів (рис. 2.4) – (рис. 2.9) показав наступне:

1 – вплив кута в плані 2 – (рис. 2.4):

- *на осьову силу* – збільшення кута в плані 2 – більше 105° (див. рис.2.4) характеризується майже подвійним зростанням осьової сили та помірним зменшенням крутного моменту. Натомість значення кута 2 – в межах $90 - 105^\circ$ не мають значних коливань силових характеристик. Виходячи з того що критичною силою тріщиноутворення Carbon-ероку T300/N5208 є величина 250 Дж/м^2 величина кута при вершині не повинна перевищувати 110° , а більш доцільним буде значення кута $2^- = 105^\circ$;

- *на крутний момент* – при збільшенні кута в плані 2 – від 90 до 107° величина крутного моменту незначно підвищується, а далі зменшується;

- *на величину початку утворення тріщини розшарування* – зі збільшенням в плані 2 – на величину більшу за 110° значно зростає глибина розшарування h , на яку впливає осьова сила (P_o). Отже, чим більший в плані 2 – , тим більшою буде величина осьової сили та більш високою вірогідність виникнення розшарувань;

- *на шорсткість поверхні* – значно не впливає.

Отже, чим більший кут при вершині 2Γ , тим більшою буде величина осьової сили та більш високою вірогідність виникнення розшарувань.

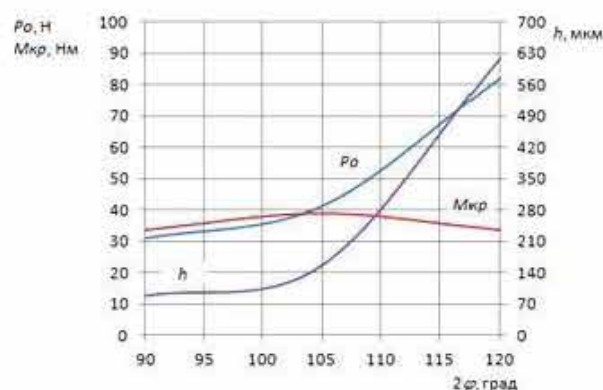


Рисунок 2.4 - Вплив кута при вершині 2^-

2 – вплив заднього кута β (рис. 2.5):

– на осьову силу – збільшення величини заднього кута β помірно знижує осьове навантаження;

– на крутний момент – значно не впливає;

– на величину початку утворення тріщини розшарування – збільшення величини заднього кута β суттєво знижує величину глибини розшарування h ;

– на шорсткість поверхні – значно не впливає.

Причому така тенденція значно підвищується зі збільшенням переднього кута β , що є позитивно.

Але, з літературних джерел [8, 10, 22, 24] відомо, що збільшення заднього кута β призводить до зниження стійкості інструмента тому величину заднього кута β бажано обирати на рівні 18-20°.

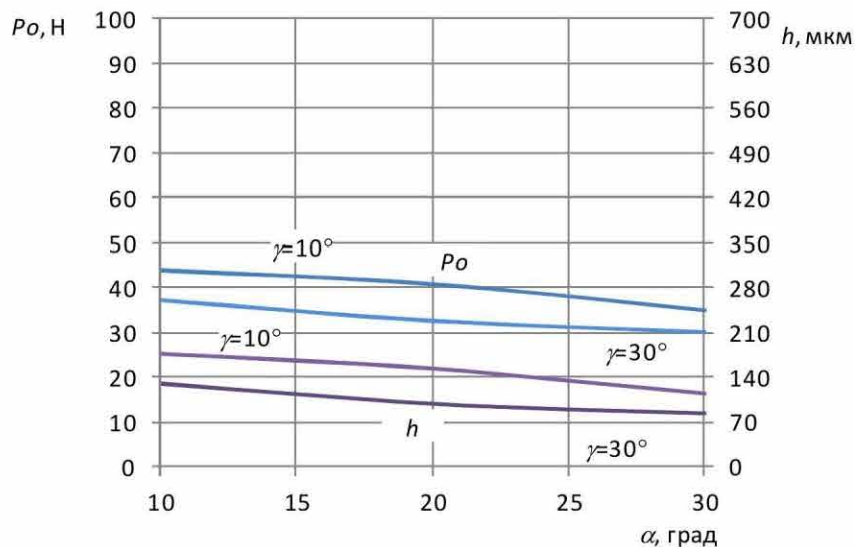


Рисунок 2.5 - Вплив заднього кута α

3 – вплив переднього кута β (рис. 2.6):

– на осьову силу – збільшення величини переднього кута β зменшує осьову силу;

– на крутний момент – значно не впливає;

– на величину початку утворення тріщини розшарування –

збільшення величини за переднього кута γ суттєво зменшує глибину на якій відбувається розшарування;

– на шорсткість поверхні – значно не впливає.

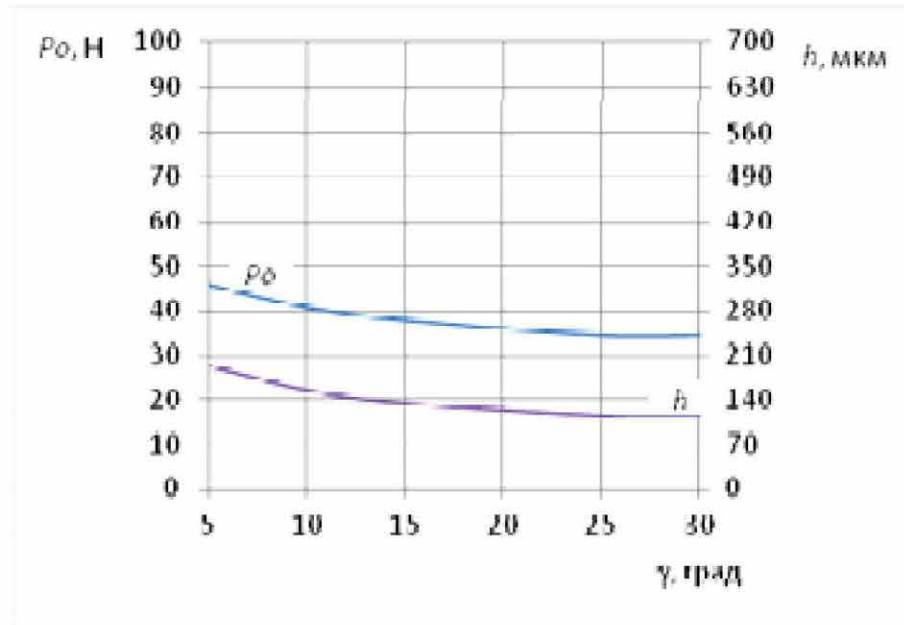
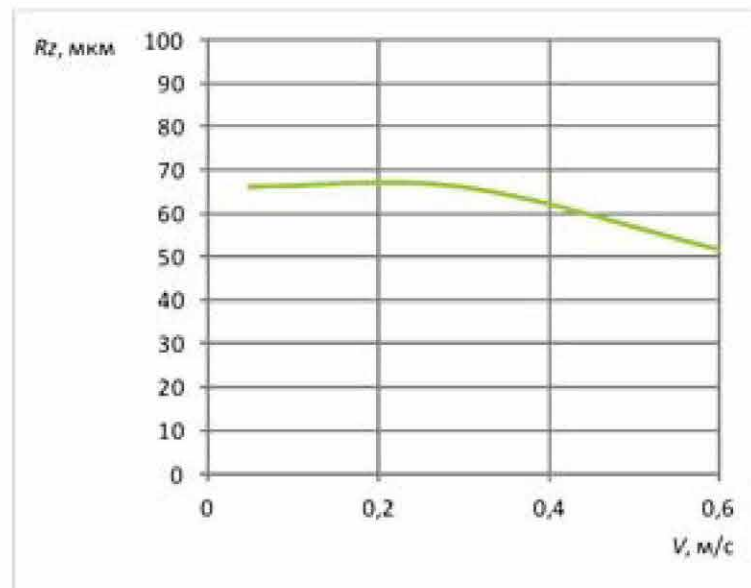
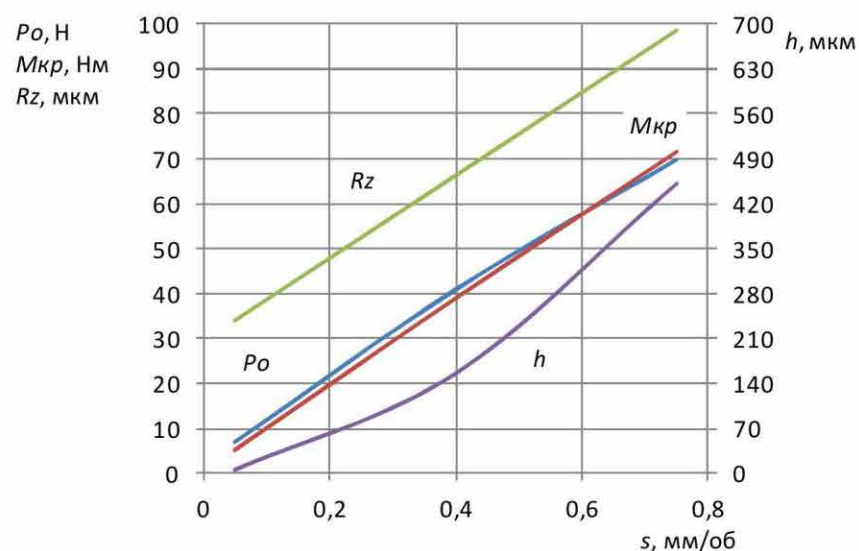


Рисунок 2.6 - Вплив переднього кута γ

4 – вплив швидкості різання v (рис. 2.7) – зі збільшенням швидкості різання v шорсткість поверхні буде кращою, тому прийнятною величина швидкості буде 0,6 м/с. Але, потрібно пам'ятати, що великі швидкості призводять до швидкого підвищення температури в зоні різання, нагріву інструменту та підвищеному зносу інструменту по задній поверхні..

Рисунок 2.7 - Вплив швидкості різання v

5 – вплив подачі s (рис. 2.8) – збільшення величини подачі s різко збільшує всі показники. З графіка видно, що оптимальною, подача буде в межах 0,2 - 0,4 мм/об, так як величина h в цьому випадку не буде перевищувати 250 мкм. Подальше збільшення величини подачі з найбільшою вірогідністю викличе появу тріщини розшарування.

Рисунок 2.8 - Вплив подачі s

6 – вплив зношування свердла по задній поверхні h_z (рис. 2.9):

- *на осьову силу* – збільшення величини зношування викликає різке збільшення осьової сили;
- *на крутний момент* – збільшення величини зношування викликає незначне збільшення крутного моменту;
- *на величину початку утворення тріщини розшарування* – збільшення величини зношування викликає різке збільшення величини глибини розшарування h ;
- *на шорсткість поверхні* – значно не впливає.

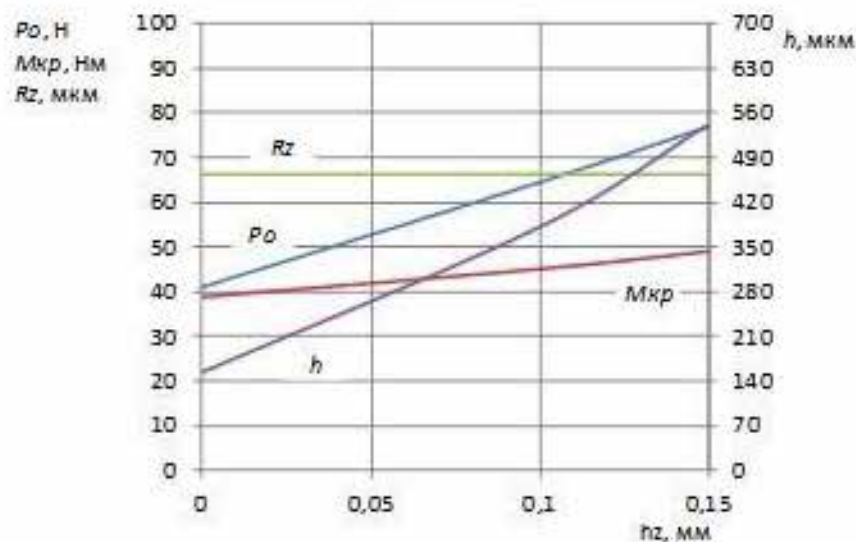


Рисунок 2.9 - Вплив зношування свердла по задній поверхні h_z

З метою прогнозування силових характеристик, шорсткості та процесів розшарування у свердла з прийнятими параметрами, проведено дослідження їх залежності від процесу зношення свердла та зміни двох можливих режимів подачі (див. рис. 2.10).

В результаті цього дослідження можна зробити висновок, що подача $s=0,2\text{ мм/об}$ дає можливість отримати значно вищу якість обробки отвору за рахунок меншого осьового навантаження та величини h розшарування. (див. рис. 2.10,б), в порівнянні з подачею $s=0,4\text{ мм/об}$ (рис. 2.10,а).

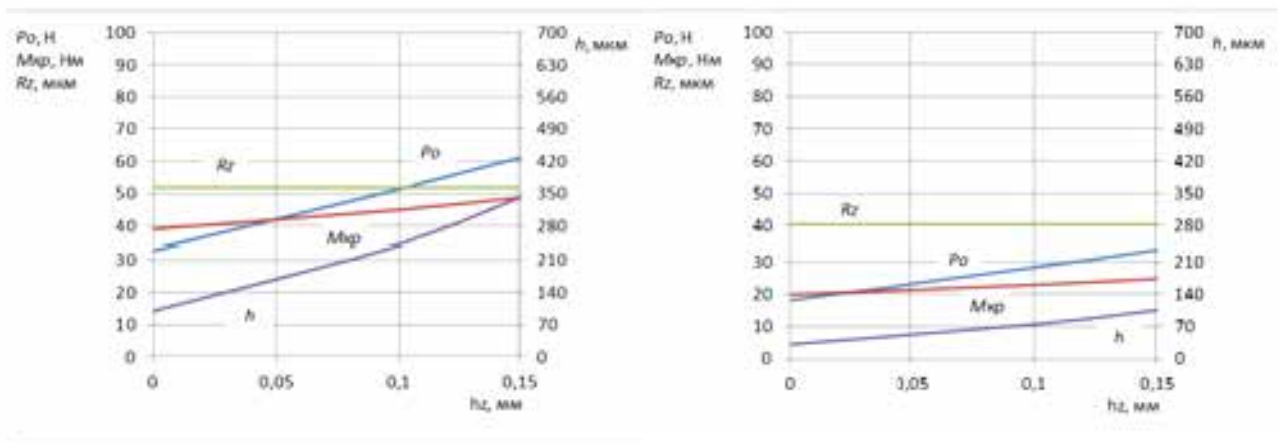
Що стосується величини зношення, то з її збільшенням на 0,1 мм та більше глибина розшарування та осьова сила помірно зростають, хоча і не до

критичних величин, тому обробка можлива, але з невеликою продуктивністю. У випадку, коли потрібно збільшити продуктивність і не висуваються вимоги до високої якості обробки можливий варіант обробки з подачею $s=0,4\text{ мм/об}$.

Але, в такому випадку, величина зношуваності не повинна перевищувати $0,05 - 0,1\text{ мм}$, тому що величина осової сили та розшарування значно зростають, а отже виникає високий ризик утворення дефектів отвору.

Отже, в залежності від того, що ми хочемо отримати ми призначаємо величину подачі. Якщо нам потрібно збільшити продуктивність і оброблена поверхня не потребує високих якісних характеристик, ми обираємо подачу $0,04\text{ мм/об}$.

Якщо ж вимагається висока ступінь точності і якості отвору, то величину подачі потрібно зменшити, але продуктивність обробки при цьому буде нижчою.



а) б)

Рисунок 2.10 – Прогнозовані характеристики свердління вуглепластику:

а – $s=0,2\text{ мм/об}$; б – $s=0,4\text{ мм/об}$

Отже, в результаті дослідження для якісної обробки вуглепластику були обрані наступні геометричні параметри свердла та режими різання:

- діаметр свердла 10 мм;
- діаметр серцевини 1,75 мм;
- кут при вершині (2ϕ)- 105° ;

- кут нахилу (ω) 30° ;
- кут нахилу (ψ) 55° ;
- 6 задній кут (α) 20° ;
- 7 швидкість обробки 0,6 м/с;
- подача: 0,2 мм/об; 0,4 мм/об.

На рис 2.11 наведено 3D модель обраного свердла.



Рисунок 2.11 - 3D модель свердла

2.3. Технічні вимоги на виготовлення свердла

Для проектування інструменту необхідна наявність вихідних даних до яких відносяться робочий кресленик інструмента та технічні вимоги на його виготовлення:

- за ГОСТ 20698 спіральні свердла повинні виготовлятися із швидкорізальної сталі марок: P6M5, P6M5K5, P9K5, P9M4K8 [27];

- для свердління отворів 10-13 квалітетів клас свердла повинен відповідати класу підвищеної точності - A1 (за ГОСТ 2034) [28];

- твердість робочої частини свердла зі швидкорізальної сталі, діаметром більше 5 мм повинна відповідати HRC 63 - 66.

У цільних свердл твердість повинна бути забезпечена по довжині канавки, зменшеною на величину не більше 1,5 діаметра свердла;

- свердла виготовляють з оберненою конусністю на робочій частині 0,08 – 0,14 мм. Обернена конусність з циліндричним хвостовиком повинна бути тільки на довжині ріжучої частини. Серцевина робочої частини повинна рівномірно збільшувати товщину по руху до хвостовика на 1,0-1,8 мм на 100 мм довжини [27];

- допуск симетричності серцевини відносно осі хвостовика свердла для свердел діаметром 6-10 мм не повинен бути більше 0,08 мм;

- допуск радіального биття по стрічкам по довжині робочої частини відносно осі хвостовика для свердел класу A1 не більше 0,08 мм;

- допуск симетричності поперечної кромки відносно осі робочої частини не більше 0,04мм;

- шорсткість задніх поверхонь, направляючих стрічок, поверхонь канавок повинна бути не нижча $R_z = 3.2$, а поверхонь хвостовиків не менше $R_a = 0.8$;

- допустиме відхилення кутів при вершині та заднього не повинні перевищувати $\pm 3^\circ$ [28].

3 Теоретична частина

Загальна трудомісткість механічної обробки містить в собі вагому частину свердильних робіт, які за даними [1, 20] становлять: 6–7 % в одиничному і дрібносерійному виробництвах, 10–12 % у середньосерійному і до 20–30 % в масовому виробництві.

На даний час як у вітчизняному, так і закордонному виробництвах спостерігається тенденція, коли багато операцій, які здійснювались на розточувальних верстатах, переводять на дешевші й простіші вертикально-свердильні верстати (ВСВ). Автотракторні заводи, наприклад, мають свердильних верстатів у 6–10 разів більше, ніж розточувальних [2, 20].

Слід зазначити, що в автомобіле-тракторному виробництві широко використовуються спеціальні верстати для отримання отворів різного діаметра, в тому числі наскрізних, де одночасно здійснюється процес різання свердлами різних діаметрів. Це дає змогу стверджувати, що собівартість свердильних операцій суттєво впливає на загальну собівартість готової продукції.

Аналіз відомих літературних джерел [3–9, 12] показує, що при свердлінні наскрізних отворів під дією осьового зусилля P_o виникають пружні деформації деталей механізму подач ВСВ, що призводить до накопичення потенціальної енергії, яка в свою чергу, при виході інструмента із тіла заготовки може спричинити значне збільшення подачі, і як результат, приблизно в 1,75–1,85 рази [8, 21] збільшення крутного моменту, що може бути причиною поломки свердел. Через те, в процесі свердління наскрізних отворів величину подачі рекомендують встановлювати на 20–25 % [4, 13], а в деяких випадках – у 1,35–1,45 рази [3] і, навіть, у 2 рази [5] меншу по відношенню до подачі S_r , яка призначається при свердлінні глухих отворів.

Таке зменшення подачі на всій глибині отвору призводить до збільшення шляху різання, підвищення трудомісткості операцій та інтенсивності зношування свердел і в кінцевому результаті до зниження ефективності

обробки. З метою недопущення такого стану запропоновано ряд пристроїв [1–2, 10–11, 14], які забезпечують зменшення подачі на ВСВ тільки на етапі врізання та на етапі виходу інструменту із тіла оброблюваної заготовки, залишаючи на етапі усталеного процесу різання подачу S_r . Окрім цього зміну подачі на цих етапах при свердлінні наскрізних отворів можна забезпечити такими системами та програмами керування металорізальними верстатами, як гідропривід, електромеханічний привід, електророманітний привід, профіль кулачків залежно від використовуваного обладнання, верстатів з ЧПК, верстатів автоматів з кулачковим керуванням, агрегатних верстатів.

Позаяк, використання таких пристроїв дозволить здійснювати усталений процес свердління наскрізних отворів на максимально допустимих значеннях подач, які призначаються при свердлінні глухих отворів, то це сприятиме зростанню продуктивності обробки за рахунок зменшення основного часу. Як показує аналіз існуючих літературних джерел [7, 16, 17], присвячених техніко-економічним показникам технологічних процесів та ефективності окремих видів обробки, питання ефективності процесу свердління наскрізних отворів шляхом зміни подачі на етапах врізання інструменту та виходу із тіла заготовки не висвітлено. Окрім цього, зменшення подачі при виході свердла із тіла заготовки, як показали експериментальні дослідження автора і дані подані в [15], призводить до значного зменшення, а особливо при свердлінні отворів у пластичних матеріалах (мідь, алюміній, нержавіючі сталі), величини задирок, що безперечно скоротить основний час при наступній операції – зрізання задирок. Тому отримання залежностей для визначення складових ефективності при використанні запропонованих автором конструкторсько-технологічних рішень [14] на основі зменшення основного часу є актуальним при вирішенні даної проблеми.

Ефективність – це відносний ефект, результативність процесу, операції, проекту, що визначаються як відношення ефекту, результату до вкладень, витрат, які обумовили, забезпечили його отримання [18].

Економічний ефект – корисний результат економічної діяльності, вимірюваний зазвичай різницею між грошовим доходом від діяльності та грошовими витратами на її здійснення [18].

Ефективність запропонованого технічного рішення, яке схематично подане на рис. 1 в, г буде мати місце при певному значенні глибини наскрізного отвору l_0 та умові коли, $t_{оз}/t_{от}<1$, де $t_{оз}$ і $t_{от}$ відповідно основні часи при свердлінні отворів глибиною l_0 , за запропонованою (рис. 3.1 в, г) і традиційною (рис. 3.1 а, б) технологіями.

На рис. 1 показано схеми свердління наскрізних отворів і схеми зміни подач за традиційною технологією, при якій подача по всій глибині свердління отвору зменшена по відношенню до подачі, що встановлена при свердлінні глухого отвору $S_n < S_2$ і за запропонованою технологією, коли подача в усталеному режимі різання дорівнює подачі, яка призначається для глухих отворів, тобто $S_n = S_2$.

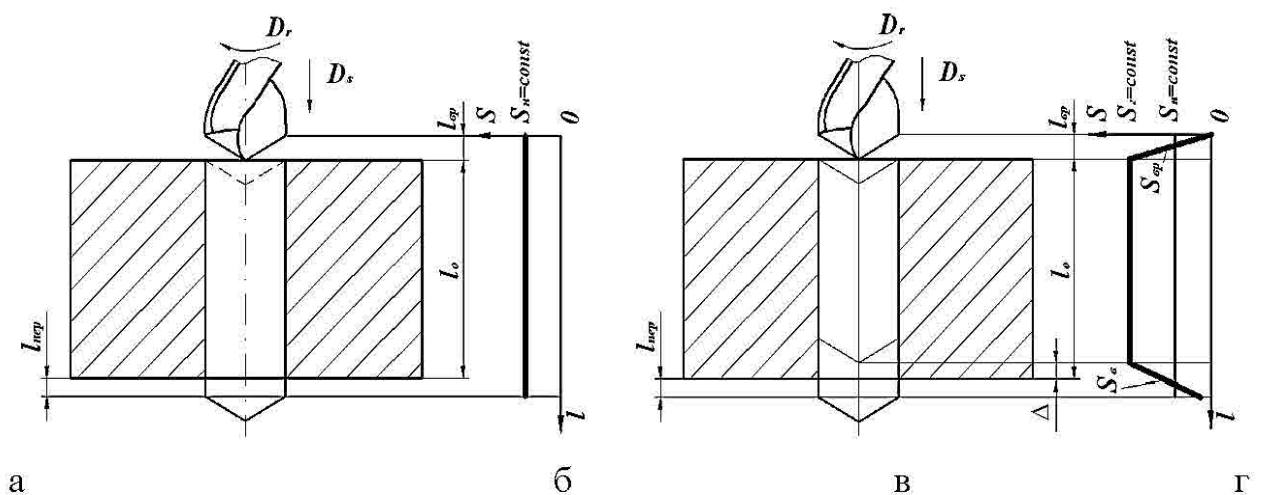


Рис. 3.1 - Схеми різання і зміни подач при свердлінні наскрізних отворів:
а, б – за традиційною технологією; в, г – за запропонованою технологією

Згідно рис. 3.1 основні часи при свердлінні за традиційною та за запропонованою технологіями, відповідно $t_{от}$ та $t_{оз}$ визначаються із залежностей:

$$t_{от} = \frac{l_{ер} + l_0 + l_{пер}}{S_H \cdot n_{ун}} (хв),$$

$$t_{оз} = \frac{l_{ер}}{0.5S_z \cdot n_{ун}} + \frac{l_0 - l_{ер} - \Delta}{S_z \cdot n_{ун}} + \frac{l_{пер} + \Delta}{0.5S_z \cdot n_{ун}} = \frac{3 \cdot l_{ер} + l_0 + \Delta + 2 \cdot l_{пер}}{S_z \cdot n_{ун}} (хв),$$

де $n_{ун}$ - частота обертання шпинделя ВСВ, об/хв.; S_H - подача при свердлінні наскрізних отворів, $S_H \square KS \square S_z$, мм/об; KS = 0,5–0,8 – рекомендовано [4, 13, 21]; S_z – подача при свердлінні глухих отворів, мм/об; l_0 – глибина наскрізного отвору, мм; $l_{ер}$

– величина врізання свердла в тіло заготовки, мм; $l_{пер}$ – величина перебігу свердла, після виходу інструменту із тіла заготовки [6], мм; $\square$ – величина пружно-пластичної зони, яка визначається віддалю від нижнього торця заготовки до зони початку пружного випучування оброблюваного матеріалу [10], мм.

Аналіз схем поданих на рис. 3.1 та залежностей дає право стверджувати, що порівняння основних часів $t_{от}$ та $t_{оз}$ можна здійснювати лише при умові $l_0 \square l_{0min}$. Наприклад, при $S_H = 0,5 S_z$, величина l_{0min} визначається із залежності $l_{0min} \square l_{вр} \square \square$.

Ефективність процесу свердління при встановленій швидкості різання в основному визначається подачею. Максимально допустима величина подачі повинна визначатись із врахуванням певних технічних обмежень, а саме: міцності свердла на поздовжній згин; міцності свердла на кручення; міцності деталей механізму подач ВСВ і т. д.

Так як найбільш широке використання мають свердла, діаметри яких знаходяться в діапазоні, коли максимально допустимі значення подачі при свердлінні лімітуються міцністю свердла на кручення, то дослідження

ефективності керованого процесу свердління наскрізних отворів здійснимо виходячи саме із цього технічного обмеження.

Для цього скористаємось рис. 3.2, на якому схематично зображено зміни основного часу при різних закономірностях зміни подачі за традиційною та за запропонованою технологіями.

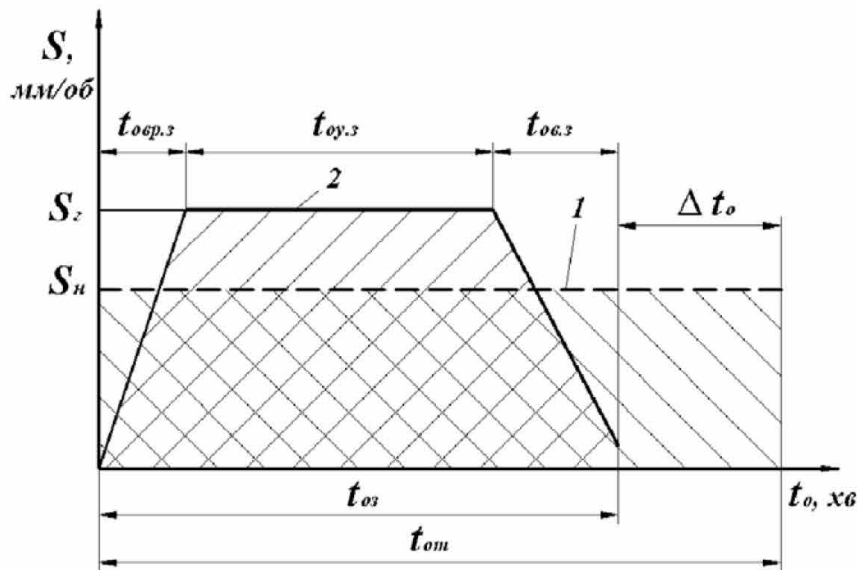


Рис. 3.2. Схеми зміни основного часу t_o і подачі S при свердлінні одного наскрізного отвору за різними технологіями:

1 – за традиційною; 2 – за запропонованою

Врахувавши, що $S_n = 0.5 S_2$

та (1) і (2), а також рис. 2 отримаємо:

$$\Delta t_o = t_{om} - t_{oz},$$

$$\Delta t_o = \frac{l_o - \Delta - l_{ep}}{S_2 \cdot n_{un}}.$$

Задавшись постійною швидкістю різання для всіх випадків (наприклад, швидкість різання $V = 20$ м/хв.) отримали графіки зміни основного часу Δt_o в залежності від глибини отвору l_o при свердлінні свердлами різних діаметрів, які графічно подані на рис. 3.3. При цьому було враховано, що подача, при

проведенні розрахунків, визначається за формулою $S = C_S \cdot D^{0.6}$ [19], де C_S – коефіцієнт, який враховує вплив фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу та типу отвору на величину подачі, а частота обертання свердла n_{ce} встановлювалась із умови $n_{ce} = n_{unn} = \frac{1000 \cdot V}{\pi D}$.

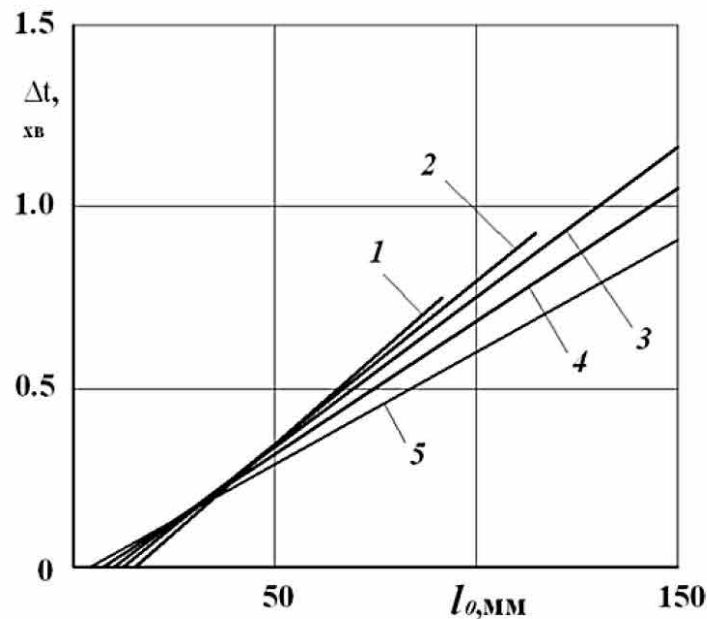


Рис. 3.3. Графіки залежності зміни основного часу Δt_o від глибини отвору l_0 : 1, 2, 3, 4, 5 відповідно при свердлінні отворів свердлами з діаметрами – 10; 15; 20; 25; 30 мм

Враховавши, що величина періоду стійкості T свердл, залежить від діаметра свердла [19], кількість просвердлених отворів за традиційною та запропонованою технологіями відповідно, n_m і n_3 , визначиться із залежностей:

$$n_m = \frac{T}{t_{om}}, \quad n_3 = \frac{T}{t_{o3}}.$$

Тоді підвищення продуктивності обробки виразиться збільшенням кількості просвердлених отворів $\Delta n = \phi(l_0)$ і визначиться за формулою:

$$\Delta n = n_3 - n_m = \frac{T \cdot (t_{om} - t_{o3})}{t_{om} \cdot t_{o3}}.$$

На рис. 3.4 подані графіки залежності кількості просвердлених n отворів від l_0 за період стійкості T при свердлінні свердлами з різними діаметрами за традиційною та за запропонованою технологіями.

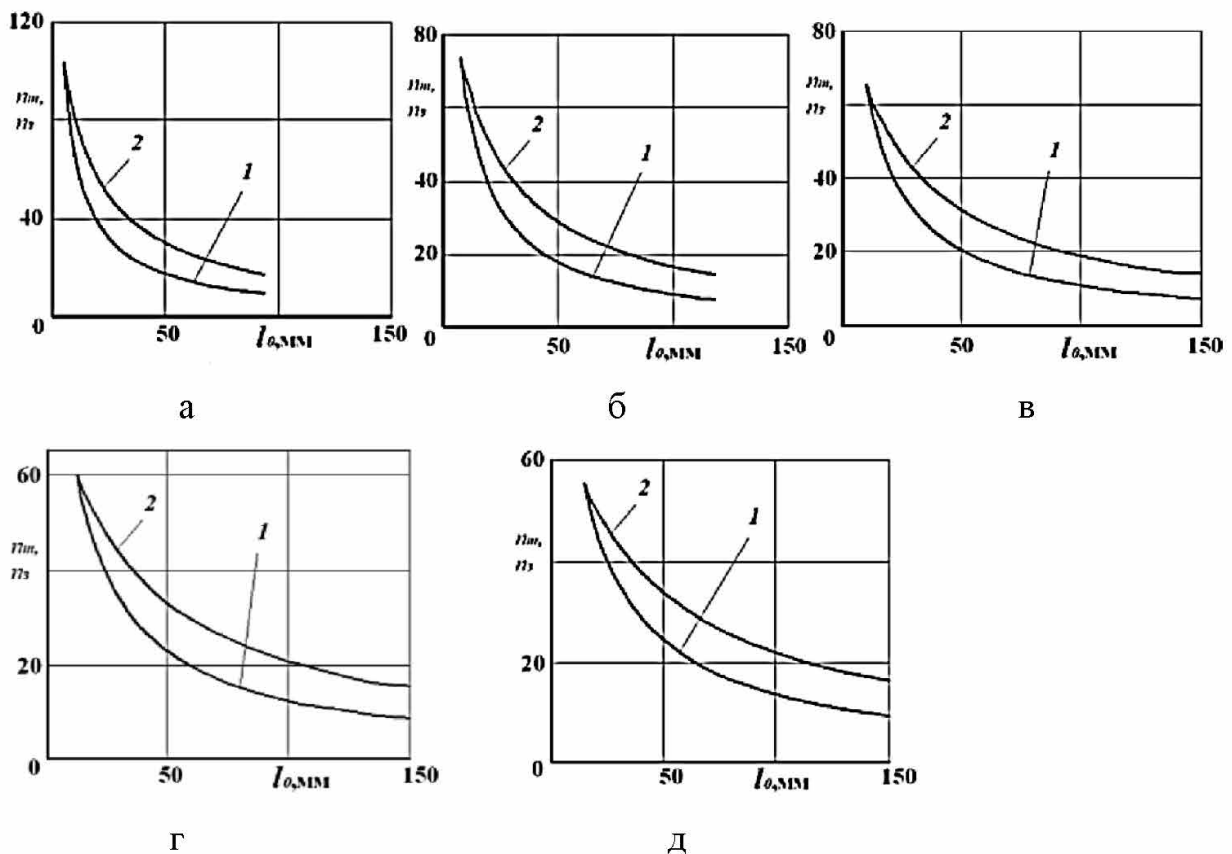


Рис. 3.4. Графіки залежності кількості просвердлених наскрізних отворів від глибини l_0 за період стійкості T : 1 – за традиційною технологією $n_m = f(l_0)$; 2 – за запропонованою технологією $\Delta n = \phi(l_0)$; а, б, в, г, д – відповідно при свердлінні отворів свердлами з діаметрами – 10; 15; 20; 25; 30 мм

Аналіз графічних залежностей поданих на рис. 3.4 показує наступне. При певних значеннях l_0 має місце істотне збільшення кількості можливих просвердлених отворів при свердлінні за запропонованою технологією, тобто.

Необхідно відзначити, що на кривих 1 та 2 (рис. 3.4) існують точки їх перетину, яким відповідає певна глибина просвердленого отвору, при якій досягається однакова кількість просвердлених отворів як за традиційною так і запропонованою технологіями. При умові, коли глибина наскрізного отвору менша від, кількість просвердлених отворів за традиційною технологією буде більша від кількості отворів просвердлених за запропонованою технологією. Це обумовлено тим, що на етапах врізання інструменту в тіло заготовки та виходу його з неї має місце менша подача ніж в процесі усталеного різання.

На рис. 5 подано графіки залежностей збільшення кількості просвердлених отворів для всіх кривих знаходиться в діапазоні $l_0 = 15\text{--}55\text{ мм}$. А далі значення Δn дещо зменшується та стабілізується при подальшому зростанні l_0 .

Дослідивши функцію $\Delta n = \phi(l_0)$ на екстремум встановлено, що максимальне значення при свердлінні свердлами діаметрами 10; 15; 20; 25; 30 мм досягається при $l_{0\text{ опт}}$, яке відповідно становить близько 18, 27, 36, 45, 54 мм.

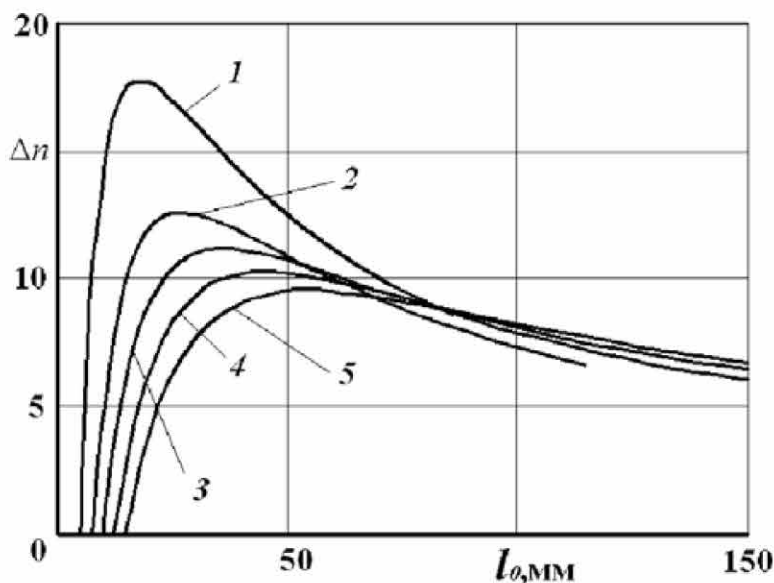


Рис. 3.5. Графіки залежностей збільшення кількості просвердлених отворів Δn від l_0 за період стійкості T при свердлінні за запропонованою технологією: 1, 2, 3, 4, 5 – відповідно при свердлінні отворів свердлами з діаметрами – 10; 15; 20; 25; 30 мм.

4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СВЕРДЕЛ ЗІ ЗМІНЕНИМИ КУТАМИ ЗАТОЧУВАННЯ

4.1 Загальні вихідні дані

Для вирішення питання про економічну ефективність нової конструкції свердла в якості бази для порівняння приймаємо спосіб свердлення наскрізних отворів на свердлильному верстаті моделі 2Н135 стандартним спіральним свердлом Ø10 мм. Розроблена конструкція свердла зі зміненими кутами заточування кромek дозволяє підвищити продуктивність наскрізних отворів на 5-10%.

Розрахуємо річну потребу в інструменті за формулою:

$$k_i = \frac{N_{\delta} \cdot T_{\text{нор}} \cdot \gamma \cdot \kappa_{\text{вт}}}{t_e \cdot (1 + p)}, \quad (4.1)$$

N_{δ} – річна програма виробництва деталей, шт./рік;

$T_{\text{нор}}$ – штучний час обробки однієї деталі, хв.;

γ – питома значення машинного часу в загальному його варіанті;

$\kappa_{\text{вт}}$ – коефіцієнт випадкової втрати інструменту;

t_e – економічна стійкість інструменту, хв.;

p – кількість переточок інструменту до повного зносу.

Потреба у базовому інструменті:

$$\kappa_{\delta} = \frac{10000 \cdot 1,0 \cdot 0,5 \cdot 1,25}{45 \cdot (60 + 1)} = 3 \text{ шт.}$$

Потреба у свердлах в проєктному варіанті:

$$\kappa_{\text{нр}} = \frac{10000 \cdot 0,9 \cdot 0,5 \cdot 1,25}{45 \cdot (60 + 1)} = 2 \text{ шт.}$$

Потребу в обладнанні визначаємо за формулою:

$$Q_p = \frac{N_{\delta} \cdot T_{\text{нор}}}{F_{\text{дрм}} \cdot 60 \cdot \kappa_e}, \quad (4.2)$$

де $F_{дрм}$ – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, год.;

κ_v – коефіцієнт виконання норм (за даними підприємства).

Розрахункова кількість обладнання в проектному варіанті:

$$Q_{p.пр} = \frac{10000 \cdot 0,9}{3680 \cdot 60 \cdot 1,01} = 0,04 \text{ (приймаємо один верстат)}$$

Загальні техніко-економічні показники базового та проектного варіантів зведено до табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Загальні вихідні техніко-економічні показники базового та проектного варіантів

№ п/п	Показник	Одиниця	Варіанти	
			базовий	проект
1.	Програма виробництва деталей	шт./рік	10000	10000
2.	Потреба в обладнанні	шт./рік	1	1
3.	Потреба в інструменті ¹	шт./рік	3	2
4.	Штучний час обробки деталі	хв.	1,0	0,9
5.	Площа, яку займає обладнання	м ²	1,84	1,84
6.	Встановлена потужність електродвигунів	кВт	4,0	4,0
7.	Категорія ремонтної складності механічної/електричної частин верстата	УРО	8/2	8/2
8.	Розряд роботи верстатника	розряд	4	4
9.	Оптова ціна:			
	- обладнання	грн.	57000	57000
	- інструменту	грн.	200	245

4.2 Визначення витрат на підготовку виробництва

4.2.1 Витрати на проектування свердла визначаємо за формулою:

$$B_{нк} = H_{ор} \cdot T_{кон} \cdot Z_{сг}^{\kappa} \cdot \left(1 + \frac{\kappa_{\delta}}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{B_c}{100}\right) + H_e, \quad (4.3)$$

де H_{op} – кількість найменувань оригінальних деталей, які входять до конструкції інструменту, шт.;

$T_{кон}$ – сумарна кількість годин на розробку усіх видів конструкторської документації, яка в середньому припадає на одне найменування оригінальних деталей, нормо-год.;

$З_{сг}^к$ – середньогодинна заробітна плата конструктора, грн./год.;

$к_д$ – додаткова заробітна плата конструктора, %;

B_c – відрахування у соціальні фонди від заробітної плати конструкторів, %;

H_e – накладні витрати, грн. (визначаються в процентах від основної заробітної плати конструктора).

$$B_{пк} = 1 \cdot 19 \cdot 101,67 \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{22,0}{100}\right) + 1 \cdot 19 \cdot 101,67 \cdot \frac{45}{100} = 3461,67 \text{ грн.}$$

4.2.2 Витрати на технологічну підготовку виробництва інструменту:

$$B_m = H_{op} \cdot T_{mex} \cdot З_{сг}^m \cdot \left(1 + \frac{к_д}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{B_c}{100}\right) + H_e, \quad (4.4)$$

де T_{mex} – сумарна трудомісткість технологічних робіт, які припадають на одне найменування оригінальних деталей, нормо-год.;

$З_{сг}^m$ – середньогодинна заробітна плата технолога, грн./год.

$$B_t = 1 \cdot 21 \cdot 100,52 \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{22,0}{100}\right) + 1 \cdot 21 \cdot 100,52 \cdot \frac{55}{100} = 3993,75 \text{ грн.}$$

4.3 Визначення експлуатаційних витрат (собівартості обробки)

Експлуатаційні витрати із застосування свердел у базовому та проектному варіантах визначаємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^m B_i, \quad (4.5)$$

де B_m – витрати на основні матеріали, грн. (не розраховуються, оскільки співпадають у базовому та проектному варіантах);

B_z – витрати на заробітну плату основну, додаткову та відрахування на соціальне страхування основних робітників, грн.;

B_e – витрати на силову електроенергію, грн.;

B_{mo} – витрати на допоміжні матеріали, грн.;

B_p – витрати на ремонт обладнання, грн.;

B_n – витрати на утримання приміщення, грн.;

B_{ip} – витрати на ріжучий інструмент, грн.;

B_a – витрати на амортизацію обладнання, грн.

Витрати на заробітну плату виробничих робітників основну, додаткову та відрахування на соціальні заходи:

$$B_z = C_r \cdot \frac{T_{\text{нор}}}{60} \cdot (1 + K_d) \cdot (1 + K_c), \quad (4.6)$$

де C_r – годинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, грн/год;

$T_{\text{нор}}$ – час обробки деталі, хв.;

K_d, K_c – коефіцієнти додаткової зарплати та відрахувань на соціальне страхування відповідно.

В базовому варіанті:

$$B_{zn}^b = 77,98 \cdot \frac{1,0}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 1,7442 \text{ грн.}$$

В проектному варіанті:

$$B_{zn}^{np} = 77,98 \cdot \frac{0,9}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 1,5697 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію силову:

$$B_e = \frac{N_b \cdot K_o \cdot K_N \cdot K_d}{\eta_m \cdot \eta_c} \cdot \frac{T_{\text{нор}}}{60} \cdot P_{\text{ел}}, \quad (4.7)$$

де N_b – встановлена потужність електродвигунів силового вузла, кВт;

K_o – коефіцієнт одночасної роботи моторів ($K_o=0,65\dots0,8$);

K_N – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за потужністю (для свердлильних верстатів $K_N=0,5\dots0,6$);

K_d – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів верстата за часом ($K_d=0,3\dots0,5$);

η_c – середній коефіцієнт корисної дії електродвигунів ($\eta_c=0,86\dots0,9$);

η_m – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі підприємства ($\eta_m=0,92\dots0,96$);

$\Pi_{ел}$ – ціна 1 кВт-год силової електроенергії, грн.

$$B_{ел}^{\delta} = \frac{4,0 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot 0,5}{0,88 \cdot 0,95} \cdot \frac{1,0}{60} \cdot 7,5 = 0,1435 \text{ грн};$$

$$B_{ел}^{\delta} = \frac{4,0 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot 0,5}{0,88 \cdot 0,95} \cdot \frac{0,9}{60} \cdot 7,5 = 0,1292 \text{ грн}.$$

Витрати на допоміжні матеріали:

$$B_{мв} = \frac{M_{гв} \cdot R_m \cdot T_{нор}}{60 \cdot 100} \cdot K_{п}, \quad (4.8)$$

де $M_{гв}$ – годинні витрати на допоміжні матеріали на 1 УРО механічної частини всіх типів верстатів, коп.;

R_m – категорія складності ремонту механічної частини верстата, УРО;

$K_{п}$ – коефіцієнт, який враховує тип виробництва (для серійного $K_{п} = 1,0$).

$$B_{дм}^{\delta} = \frac{78,5 \cdot 8,0 \cdot 1,0}{60 \cdot 100} \cdot 1,0 = 0,1046 \text{ грн};$$

$$B_{дм}^{np} = \frac{78,5 \cdot 8,0 \cdot 0,9}{60 \cdot 100} \cdot 1,0 = 0,0942 \text{ грн}.$$

Витрати на ремонт обладнання:

$$B_p = \frac{R_m \cdot \Gamma_{вм} + R_e \cdot \Gamma_{вс}}{F_{дрм}} \cdot \frac{T_{нор}}{60}, \quad (4.9)$$

де $\Gamma_{\text{вм}}, \Gamma_{\text{ве}}$ – відповідні річні витрати на всі види ремонту на 1 УРО механічної та електричної частин вузла, грн./рік;

$F_{\text{дрм}}$ – дійсний річний фонд часу роботи верстата (при двозмінному режимі роботи для серійного виробництва – 3980 год.).

$$B_p^{\delta} = \frac{8 \cdot 880 + 2 \cdot 720}{3680} \cdot \frac{1,0}{60} = 0,0384 \text{ грн};$$

$$B_p^{\text{np}} = \frac{8 \cdot 880 + 2 \cdot 720}{3680} \cdot \frac{0,9}{60} = 0,0346 \text{ грн};$$

Витрати на експлуатацію універсального різучого інструменту:

$$B_{ip} = \frac{(S_u + p \cdot S_{\text{пер}}) \cdot \gamma \cdot T_{\text{нор}}}{t_e (p + 1)} K_{\text{ет}}, \quad (4.10)$$

де S_u – первісна вартість різучого інструменту, грн.;

$S_{\text{пер}}$ – вартість однієї переточувань, грн.;

$$B_{ip}^{\delta} = \frac{(200,0 + 60 \cdot 3,32) \cdot 0,5 \cdot 1,0}{45 \cdot (1 + 60)} \cdot 1,25 = 0,0909 \text{ грн};$$

$$B_{ip}^{\delta} = \frac{(245,0 + 60 \cdot 3,32) \cdot 0,5 \cdot 0,9}{45 \cdot (1 + 60)} \cdot 1,25 = 0,0910 \text{ грн}.$$

Витрати на утримання приміщення:

$$B_{\text{уп}} = \frac{F_o \cdot K_d \cdot C}{F_{\text{дрм}}} \cdot \frac{T_{\text{нор}}}{60}, \quad (4.11)$$

де F_o – виробнича площа, яку займає одиниця обладнання, м²;

K_d – коефіцієнт, який враховує додаткову площу (на проходи, проїзди, побутові та службові приміщення) [1];

C – річні витрати, пов'язані з використанням 1 м² виробничого приміщення, грн./м².

$$B_{\text{уп}}^{\delta} = \frac{1,84 \cdot 4,0 \cdot 1,0}{3680 \cdot 60} \cdot 780 = 0,0260 \text{ грн};$$

$$B_{\text{уп}}^{\text{np}} = \frac{1,84 \cdot 4,0 \cdot 0,9}{3680 \cdot 60} \cdot 780 = 0,0234 \text{ грн};$$

Витрати на амортизацію верстата:

$$B_a = \frac{\Phi_{\text{бал}} \cdot H_a}{F_{\text{дрм}} \cdot 100} \cdot \frac{T_{\text{нор}}}{60}, \quad (4.12)$$

де H_a – норма амортизації, %;

$\Phi_{\text{бал}}$ – балансова вартість верстата, грн.

Балансову вартість верстатів знайдемо за формулою:

$$\Phi_{\text{бал}} = \Pi_{\text{опт}} \cdot (1 + K_{\text{тр}} + K_{\text{м}} + K_{\text{ф}}), \quad (4.13)$$

де $\Pi_{\text{опт}}$ – оптова ціна верстата, грн.;

$K_{\text{тр}}$, $K_{\text{м}}$, $K_{\text{ф}}$ – відповідно коефіцієнти, які враховують транспортування (0,05...0,1), монтаж (0,04...0,06) та влаштування фундаменту (0,02...0,08).

$$\Phi_{\text{бал}} = 57000 \cdot (1 + 0,08 + 0,06 + 0,05) = 67830 \text{ грн.},$$

$$B_a^{\sigma} = \frac{67830 \cdot 20 \cdot 1,0}{3680 \cdot 60 \cdot 100} = 0,0614 \text{ грн.},$$

$$B_a^{np} = \frac{67830 \cdot 20 \cdot 0,9}{3680 \cdot 60 \cdot 100} = 0,0553 \text{ грн.},$$

Результати розрахунків зводимо до табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Експлуатаційні витрати (собівартість обробки)

№ п/п	Експлуатаційні витрати	Умовне позначен- ня	Варіанти	
			Базовий	Проектний
1.	Заробітна плата основна, додаткова з відрахуваннями на соціальні заходи	B_z	1,7442	1,5697
2.	Силовa електроенергія	$B_{ел}$	0,1435	0,1292
3.	Допоміжні матеріали	$B_{\text{дм}}$	0,1046	0,0942
4.	Ремонт обладнання	B_p	0,0384	0,0346
5.	Універсальний ріжучий інструмент	B_{ip}	0,0909	0,0910

6.	Утримання приміщення	B_{yn}	0,0265	0,0234
7.	Амортизація обладнання	B_a	0,0614	0,0553
Загальна сума		B_e	2,2095	1,9974

4.4 Розрахунок показників економічної ефективності

4.4.1 Річний економічний ефект, який отримує виробник проектного свердла розраховуємо за формулою:

$$E_{pv} = (\Pi_{од.пр} - \Pi_{од.б}) \cdot \Pi_v - E_n \cdot K_v, \quad (4.14)$$

де $\Pi_{од.пр}$, $\Pi_{од.б}$ – відповідно прибуток від реалізації базового і проектного інструментів, грн (складає у ціні інструменту 15%);

Π_v – програма виробництва інструменту, шт./рік;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

K_v – додаткові капітальні витрати у виробника, грн.

$$K_v = B_{mk} + B_m = 3461,67 + 3993,75 = 7455,42 \text{ грн}, \quad (4.15)$$

де B_{mk} , B_m – відповідно, вартість конструкторської та технологічної підготовки виробництва, грн.

$$E_{pv} = (36,75 - 30,0) \cdot 1500 - 0,16 \cdot 7455,42 = 8930 \text{ грн.}$$

4.4.2 Річний економічний ефект, який отримує підприємство-споживач, розраховуємо за формулою:

$$E_{p.cn} = (B_e^b - B_e^{np}) \cdot N_d - E_n \cdot K_{cn},$$

де K_{cn} – додаткові капітальні витрати у споживача, грн.

$$K_{cn} = \Pi_i^{np} \cdot K_i^{np} - \Pi_i^b \cdot K_i^b,$$

де Π_i^{np} , Π_i^b – вартість інструменту відповідно в проектному та базовому варіантах;

K_i^{np} , K_i^b – потреба в інструменті відповідно в проектному та базовому варіантах.

$$K_{\text{сп}} = 245 \cdot 2 - 200 \cdot 3 = -110 \text{ грн};$$

$$E_{\text{р.сп}} = (2,2095 - 1,9974) \cdot 10000 - 0,16 \cdot (-110) = 2140 \text{ грн.}$$

4.4.3 Строк окупності додаткових капітальних вкладень у виробника свердла:

$$T_{\text{ок.в}} = \frac{K_{\text{в}}}{(\Pi_{\text{од.пр}} - \Pi_{\text{од.б}}) \cdot \Pi_{\text{в}}} = \frac{7455,42}{(36,75 - 30,0) \cdot 1500} = 0,74 \text{ року} = 9 \text{ міс.}$$

У підсумку складаємо зведену таблицю техніко-економічних показників проекту (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Підсумкові техніко-економічні показники базового та проектного варіантів

№ п/п	Показники	Одини ця	Базовий варіант	Проект	Зміна, % (+,-)
1.	Програма випуску свердел	шт/рік	1500	1500	—
2.	Потреба в свердлах у споживача	шт/рік	3	2	-33,3
3.	Програма виробництва деталей	шт/рік	10000	10000	—
4.	Штучний час обробки деталі	хв.	1,0	0,9	+10,0
5.	Оптова ціна свердла	грн	200	245	+22,5
6.	Прибуток з продажу свердла	грн	30,0	36,75	+22,5
7.	Собівартість одиниці обробки	грн	2,2095	1,9974	-9,6
8.	Капітальні витрати на підготовку виробництва	грн.	—	7455,4	—
9.	Річний економічний ефект:				
	- у виробника	грн.	—	8930	—
	- у споживача	грн.	—	2140	—
10	Строк окупності додаткових капітальних витрат у виробника	міс.	—	9,0	—

ВИСНОВКИ

Завдяки деяким своїм властивостям вуглепластик має високі абразивні властивості, аналіз дефектів, що виникають при обробленні вуглепластика показав, що при виборі інструмента для його оброблення необхідно відповідально ставитися до кожного конструктивного елемента.

Аналіз конструктивних елементів свердел для оброблення вуглепластика, враховуючи умови роботи, дозволив визначитися із конструктивним виконанням інструмента для свердління отворів. В якості матеріала різальної частини свердла прийнято швидкорізальну сталь підвищеної продуктивності Р6М5К5, оскільки умовами роботи інструмента передбачено свердління отворів як на верстатах так і з використанням ручного електроінструмента.

Аналіз процесу тріщиноутворення, наслідком якого є розшарування, при свердлінні вуглепластика показав, що глибина початку розшарування при виході свердла залежить від осьової сили, яка, в свою чергу залежить від геометричних параметрів свердла та режимів його роботи.

Теоретичні дослідження впливу геометричних параметрів, режимів різання та величини зношування на глибину розшарування та шорсткість обробленої поверхні при свердлінні показав, що:

- кут при вершині свердла, величина зношування різальної кромки та подача найбільш сильно впливають на силові характеристики та глибину розшарування, викликаючи їх значне збільшення;

- передній та задній кути свердла викликають помірне зменшення осьової сили та значне зменшення глибини розшарування;

На підставі проведених досліджень прийнято геометричні параметри та режими різання, які дозволяють значно зменшити появу розшарування при свердлінні вуглепластика, при цьому, визначено дві величини подачі, які дозволяють, в залежності від задач, або отримати високу продуктивність

оброблення або низьку шорсткість обробленої поверхні, при всіх інших рівних умовах.

Для виготовлення гвинтової канавки робочої частини свердла було проведено, на основі 3D моделювання в CAD системі, аналіз впливу установчих параметрів дискового інструмента на профіль початкової інструментальної поверхні дискового інструмента. Аналіз отриманих профілів початкової інструментальної поверхні показав, що:

- міжосьова відстань між віссю свердла та віссю дискового інструмента найменше та найбільш плавно впливає;
- кут схрещування між осями дискового інструмента та свердла та положення точки схрещування осей, відносно канавки свердла найбільш суттєво впливають.

На підставі отриманих даних профілювання початкової інструментальної поверхні встановлено її профіль для формування різального інструмента та установчі параметри для неї.

Для загострення різальної кромки свердла було розроблено 3D-модель та складальний кресленик поворотної головки, проведено розрахунок сили закріплення в цанговому патроні, визначені установчі параметри для загострення свердла.

Таким чином, в процесі виконання дипломного проекту, була досягнута кінцева мета – розроблена конструкція та технологія виготовлення свердла з раціональними геометричними параметрами для обробки вуглепластика.

На практиці можна успішно застосовувати профілювання початкової інструментальної поверхні на основі 3D моделювання в CAD системі, як більш точний, наочний та швидкий метод.

В подальшому можливо розглянути вплив теплових факторів на процес свердління вуглепластика.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. «Різальний інструмент та інструментальне забезпечення автоматизованого виробництва» Конспект лекцій для студентів ММІ. В.І.Солодкий, Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016 – 307 с.
2. Механічна обробка композиційних матеріалів при складанні літальних апаратів (аналітичний огляд). Монографія Криворучко Д. В. Залога В. О. Колесник В. О. «Університетська книга», Суми-2013 р - 260с.
3. Дослідження процесу свердління авіаційних матеріалів свердлами з метою удосконалення геометрії різальної частини. / О.В. Глоба, Є.В. Олійник, К.А. Сенкевич // Процеси механічної обробки в машинобудуванні. Національний технічний університет України «КПІ», Випуск 7, 2009
4. Свердлення ПКМ свердлами з підрізаючими ріжучими кромками. / Б.В. Лупкін, О.М.Кошкіна, А.Л. Касс. // Щоквартальний науково- практичний журнал «Інтегровані технології та енергозбереження». Видавничий центр НТУ «ХПІ», Випуск 3, 2018.
5. Методика вібраційного свердління матеріалів та контроль зношування інструменту / О.В. Глоба, С.М. Милокост, І.О. Булах // Збірник тез доповідей 12 всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції “Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво”. – Київ, 2012. – С. 75-76.
6. Бондалетова Л. И., Бондалетов В. Г. Полимерные композиционные материалы (часть 1) // Томский политехнический университет. – 2013. – с. 14 -19.
7. Хавин Г.Л., Хоу Чживень. Эффективность сверления полимерных композиционных материалов сверлами, отличными по конструкции от спирального // «Інтегровані технології та енергозбереження». Видавничий центр НТУ «ХПІ», Випуск 3, 2018.

8. Забезпечення якості оброблення отворів комбінованими свердлами у деталях з ПКМ / В.А. Пасічник, Ю.І. Адаменко, Ю.Й. Бесарабець, С.О. Степаненко, // Резание и инструмент в технологических системах. Харьков НТУ «ХПИ», 2015. – № 85.
9. Карбон — что это такое. // Техноконсалтинг. Материалы и технологии. URL: <https://engitime.ru/statyi1/raznoe/chto-takoe-ugleplastik-karbon.html>
10. Підвищення ефективності процесу свердління вуглепластиків та склопластиків лезовими алмазними свердлами, Гречук А.І. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, 2019.
11. Мамлюк О.В. Формообразование режущей части сверл с подрезающими режущими кромками для обработки композиционных материалов / О. В. Мамлюк, Р. П. Родин, О. М. Кошкина // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии, 2010. – № 48. – С. 71–79.
12. Штучний Б.П. Механічна обробка пластамас. Довідник. 2 вид.,перероблене та доповнене. – Машинобудування.1987.-152с.
13. Дослідження процесу свердління авіаційних матеріалів триперими свердлами з метою удосконалення геометрії різальної частини. . О.В. Глоба, Є.В. Олійник, К.А. Сенкевич // Процеси механічної обробки в машинобудуванні. – К. : вип. 7, 2009
14. Комп'ютерні методи при дослідженні процесу свердління композиційних матеріалів. / Глоба О.В. Булах І.О. // Тези доповідей загально університетської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів, присвяченої дню Науки. Машинобудування, 2013
15. Залежність точності отворів в ПКМ від геометрії інструменту. / Глоба О.В., Милокост С.М. // Тези доповідей загально університетської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів, присвяченої дню Науки. Машинобудування, 2013.
16. Дослідження глибини початку розшарувань при свердлінні вуглепластиків.

- / М. В. Стишак, Л. І. Ковальова. // Інновації молоді в машинобудуванні 2019.
17. Многокритериальная оптимизация двухлонжеронного композитного крыла легкого самолета / О.В. Татарников, В.А. Пху, Л.А. Найнг. // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, вып. 5(734), 2021.
 18. Борисов В.Б., Борисов Е.И., Васильев В.Н. Справочник технолога машиностроителя. Том 1. – М.: Машиностроение, 1986.
 19. Родин П. Р. Основы проектирования режущих инструментов. Киев Вища школа, 1990. 424 с
 20. Солодкий В.І. Проектування металорізальних інструментів О.А.Плівак, С. В. Майданюк - Київ, НТУУ КПІ ім.. Сікорського, 2017. 170 с.
 21. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.
 22. Корбут Е. В. Повышение работоспособности сверл для обработки кости : дис... канд. техн. наук: 05.03.01 / Корбут Е. В.; Национальный технический ун-т Украины "Киевский политехнический ин-т". - К., 1999. - 163 с.
 23. Приспособления для металлорежущих станков. Справочник.- 7 изд. перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1979-303 с.
 24. Степанов А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов.- Л.: Машиностроение, 1987 - 176с.
 25. Г.Л. Хавін Моделювання міжшарового руйнування при сверлінні композиційних матеріалів. // Різання і інструмент в технологічних системах, 2013, випуск 83.
 26. ГОСТ 25751-83 Термины та определения.
 27. ГОСТ 20698 -75 Сверла спиральные для обработки

труднообрабатываемых материалов

28. ГОСТ 2034-80 Сверла спиральные. Технические условия.
29. ГОСТ-у 2590-2006 Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый.
30. Майданюк С.В. Комп'ютерне моделювання дискового інструменту для гвинтових канавок свердел / С.В Майданюк, Л.І. Ковальова // Технічні науки та технології. – 2019 № 1(15) С.106-114
31. Профілювання інструменту для оброблення гвинтових канавок свердел за допомогою комп'ютерних систем 3 D проектування. / Д.С. Бобков, С.В. Майданюк // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «Іновації молоді в машинобудуванні» - К.: НТУУ КПП ім.. Сікорського, 2019
32. Заточка сверл по двум плоскостям. / Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Режущий инструмент». – К. : НТУ КПИ им. Сикорского. 1996г.
33. Горошкин А.К. Приспособления для метало­режущих станков Справочник, 7 издание, измен.и доп.- М. Машиностроение.1979. – 303 с.
34. Родин П. Р. Геометрия режущей части спирального сверла. – К. : Техніка, 1971. – 135 с.