

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **Обґрунтування вибору інструменту для
обробного центру за каталогами Sandvik**

Виконав: студент групи Маш-61

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Лозинський Павло Олександрович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Швець Олексій Петрович
(Прізвище та ініціали)

Львів-Дубляни 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

Освітній ступінь «Магістр»
Спеціальність 133 - Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
Машинобудування
(назва кафедри)

(підпис)
професор Віталій ВЛАСОВЕЦЬ
(прізвище та ініціали)

“ ____ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту

Лозинському Павлу Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування вибору інструменту для обробного центру за каталогами Sandvik

Керівник роботи _____
к.т.н., Швець Олексій Петрович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЛНУП від 12 вересня 2024 року №616/к-с

2. Строк подання студентом роботи до “ ____ ” _____ 20__ року

3. Вихідні дані до работ: довідкова література, інструкція до використання та характеристики металообробних центрів та верстатів з ЧПК, каталрги металожіжучого інструменту та оснастки від фірми Sandvik, типові технології обробки деталей різанням на металообробних верстатах, , методичні рекомендації до розробки технологічних процесів обробки типових,

характеристики конструкційних матеріалів, інструкції з охорони праці та інші довідкові джерела.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

4.1. Характеристики обробних центрів та верстатів з ЧПУ; 4.2. Характеристики ріжчого інструменту; 4.3. Аналіз процесу обробки деталей на обробних центрах; 4.4. Обґрунтування вибору інструментів за каталогами Sandvik 4.5. Охорона праці; Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу:

Графічні матеріали до роботи виконати у вигляді презентації в середовищі PowerPoint обсягом 10-12 листів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		Завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3	Швець О.П. доц. каф. машинобудування			
4	Городецький І.М. доц. каф. інженерної механіки			

7. Дата видачі завдання “ ____ ” _____ 20__ року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Характеристики обробних центрів та верстатів з ЧПУ	27.09.24	
2	Характеристики ріжчого інструменту	15.10.24	
3	Аналіз процесу обробки деталей на обробних центрах	25.10.24	
4	Обґрунтування вибору інструментів за каталогами Sandvik	01.11.24	
5	Охорона праці	15.11.24	
6	Оформлення пояснювальної записки	29.11.24	
7	Оформлення графічної частини	11.12.24	

Студент

(підпис)

Лозинський П.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Швець О.П.

(прізвище та ініціали)

Лозинський П.О. «Обґрунтування вибору інструменту для обробного центру за каталогами Sandvik». /Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького, 2025. 78 с.

Проведено аналіз конструкції металообробних центрів та верстатів з ЧПУ, зокрема особливості будови та конструкції фрезерного верстата з ЧПУ та його підсистем і модулів. Проаналізовано характеристики ріжучого інструменту для металообробних верстатів і центрів та особливості їх застосування. На основі теоретичного аналізу процесу фрезерної обробки та інформації каталогів ріжучого інструменту фірми Sandvik здійснено обґрунтування вибору інструментів і режимів різання для обробного центру. Розроблена методика підбору інструменту для обробного центру з числовим програмним керування дозволяє швидко віднаходити необхідний інструмент серед усієї номенклатури, визначати особливості його застосування та необхідні межі налаштування технологічних параметрів роботи верстатів, прогнозувати затрати часу та продуктивність виробництва.

Табл. 4; рис. 46; бібліогр. джерел 30.

ЗМІСТ

	ВСТУП	6
1	ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБРОБНИХ ЦЕНТРІВ ТА ВЕРСТАТІВ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ УПРАВЛІННЯМ	7
1.1	Загальні відомості про верстати з числовим програмним керуванням	7
1.2	Особливості будови та конструкції фрезерного верстата з ЧПУ	9
1.3	Функціональні складові (підсистеми) ЧПУ	11
1.3.1	Підсистема керування	12
1.3.2	Підсистема приводів	13
1.3.3	Підсистема зворотного зв'язку	15
1.3.4	Функціонування системи ЧПУ	17
	Висновки за розділом	18
2	ХАРАКТЕРИСТИКИ РІЖЧОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ МЕТАЛООБРОБНИХ ВЕРСТАТІВ ТА ЦЕНТРІВ	19
2.1	Поняття ріжучого клина для лезового інструменту	19
2.2	Елементи режиму різання	21
2.3	Ріжучий клин при точенні, фрезеруванні, свердлінні	22
2.4	Різання абразивним інструментом	24
2.5	Інструментальні матеріали та рекомендації щодо їх застосування	25
2.5.1	Швидкорізальні сталі	26
2.5.2	Тверді сплави	27
2.5.3	Мінеральна кераміка	29
2.5.4	Надтверді матеріали	30
2.5.5	Абразивні матеріали	31
2.5.6	Зносостійкі покриття	32
	Висновки за розділом	32
3	АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ОБРОБНИХ ЦЕНТРАХ ТА ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПУ	33
3.1	Загальні відомості про процес фрезерування	33
3.2	Ріжучий інструмент для фрезерних обробних центрів	35
3.3	Допоміжний інструмент	41
3.4	Основні технологічні параметри процесу фрезерування	43
3.5	Рекомендації до виконання процесу фрезерування	44
	Висновки за розділом	47

4	ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ІНСТРУМЕНТІВ І РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ДЛЯ ОБРОБНОГО ЦЕНТРУ ЗА КАТАЛОГАМИ ФІРМИ SANDVIK	48
4.1	Методи підвищення продуктивності при обробці металів різанням	48
4.2	Послідовність вибору інструментів і режимів різання	49
4.2.1	Вплив оброблюваного матеріалу на вибір інструменту	49
4.2.2	Вибір виду та визначення умов обробки за каталогами	50
4.3	Визначення та корегування режимів обробки за каталогом	52
4.4	Аналіз маркування пластин та вибір оптимізованого варіанту	55
4.5	Особливості вибору інструментів за каталогами SANDVIK для обробки зовнішніх і внутрішніх поверхонь способом точіння	56
4.6	Практичні рекомендації щодо усунення проблем, які можуть виникати під час точіння	58
4.7	Особливості вибору інструменту за каталогами Sandvik для фрезування типових поверхонь	60
4.8	Практичні рекомендації до усунення проблем, які виникають під час фрезування	64
4.9	Особливості вибору інструменту за каталогами Sandvik для свердління отвір	65
4.10	Практичні рекомендації до усунення проблем, які виникають під час свердління	67
	Висновки за розділом	68
5	ОХОРОНА ПРАЦІ	69
5.1	Загальні положення	69
5.2	Математичне моделювання процесу формування і виникнення травмонебезпечної ситуації під час роботи на верстатах	71
	Висновки за розділом	74
	ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	75
	БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	76

ВСТУП

Сучасне машинобудування характеризується постійним прагненням до підвищення ефективності виробництва, що включає скорочення часу обробки, покращення якості готової продукції та зниження собівартості. Ключову роль у досягненні цих цілей відіграє використання високопродуктивного обладнання, зокрема обробних центрів з ЧПК, а також правильний вибір різального інструменту та оптимальних режимів різання.

Широкий асортимент інструментів, представлений на світовому ринку, вимагає від інженерів глибоких знань та вмінь для їх раціонального підбору. Каталоги провідних світових виробників, таких як Sandvik Coromant, містять величезний обсяг інформації та інструменти автоматизованого вибору, як-от «ToolGuide», які допомагають оптимізувати процес підбору. Однак для ефективного використання цих ресурсів потрібне системне обґрунтування прийнятих рішень. Недостатньо обґрунтований вибір інструменту може призвести до зниження продуктивності, збільшення зносу інструменту та браку деталей. Тому тема обґрунтування вибору інструменту для обробного центру за каталогами Sandvik є актуальною та має важливе практичне значення.

Метою дипломної роботи є розробка методики та практичне обґрунтування вибору оптимального комплексу різального інструменту за каталогами Sandvik для конкретної технологічної операції на обробному центрі з ЧПК.

1. ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБРОБНИХ ЦЕНТРІВ ТА ВЕРСТАТІВ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ УПРАВЛІННЯМ

1.1. Загальні відомості про верстати з числовим програмним керуванням

На сьогоднішній день практично кожне підприємство, яке займається механічною обробкою, має у своєму розпорядженні верстати з числовим програмним управлінням (ЧПУ). Верстати з ЧПУ виконують ті самі функції, що й звичайні верстати з ручним керуванням, проте переміщення виконавчих органів цих верстатів керуються електронікою. Основними перевагами верстатів з ЧПУ є більш високий рівень автоматизації виробництва. Випадки втручання оператора верстата в процес виготовлення деталі зведені до мінімуму. Верстати з ЧПУ можуть працювати практично автономно, день за днем, випускаючи продукцію з незмінно високою якістю. При цьому головною турботою оператора є в основному підготовчо-заклучні операції: встановлення заготовки та зняття деталі, налагодження інструменту тощо. В результаті один працівник може обслуговувати одночасно кілька верстатів.

Ще однією перевагою є гнучкість виробництва. Це означає, що для обробки різних деталей потрібно лише замінити програму. А вже перевірена та відпрацьована програма може бути використана у будь-який момент і будь-яку кількість разів [6].

Третім плюсом є висока точність та повторюваність обробки. По одній і тій же програмі можна виготовляти з необхідною якістю тисячі практично ідентичні деталі, а числове програмне управління дозволяє обробляти такі деталі, які не можна виготовити на звичайному устаткуванні, такі як деталі зі складною просторовою формою, наприклад штампи та прес-форми.

Варто зазначити, що сама методика роботи за програмою дозволяє більш точно передбачати час обробки деякої партії деталей та найповніше завантажувати устаткування.

Верстати з ЧПУ коштують досить дорого і вимагають великих витрат на установку та обслуговування, ніж звичайні верстати. Тим не менш їх висока продуктивність легко може перекрити усі витрати при грамотному використанні і відповідних обсягах виробництва.

Числове програмне керування – це автоматичне керування верстатом за допомогою комп'ютера (який знаходиться всередині верстата) та програми обробки (керуючої програми). До винаходу ЧПУ управління верстатом здійснювалося вручну або механічно [7].

Осьовими переміщеннями верстата з ЧПУ керує комп'ютер, який читає управляючу програму (УП) і видає команди відповідним двигунам. Двигуни змушують переміщатися виконавчі органи верстата - робочий стіл або колону зі шпинделем. В результаті проводиться механічна обробка деталей. Датчики, встановлені на напрямних, посиляють інформацію про фактичну позицію виконавчого органу назад у комп'ютер. Це називається зворотним зв'язком. Як тільки комп'ютер дізнається про те, що виконавчий орган верстата знаходиться у потрібній позиції, він виконує наступний рух. Такий процес триває, доки читання керуючої програми не дійде до кінця.



Рисунок 1.1 - Фрезерний верстат з ЧПУ фірми Doosan [8]

За своєю конструкцією та зовнішнім виглядом верстати з ЧПУ схожі на звичайні універсальні верстати. Єдина зовнішня відмінність цих типів станків полягає в наявності пристрою числового програмного управління (ПЧПУ), який часто називають стійкою ЧПУ.



Рисунок 1.2 - Стійка ЧПУ Heidenhain TNC [8]

1.2. Особливості будови та конструкції фрезерного верстата з ЧПУ

Фрезерні верстати з ЧПУ можна класифікувати за різними ознакам: за положенням шпинделя (вертикальні або горизонтальні), за кількістю керованих осей або ступенів свободи (2, 3, 4 або 5 осей), за точністю

позиціонування та повторюваності обробки, за кількістю використовуваного інструмента (одно-або багатоінструментальні) тощо.

Розглянемо конструкцію вертикально-фрезерного верстата із ЧПУ (рис. 1.3, 1.4).

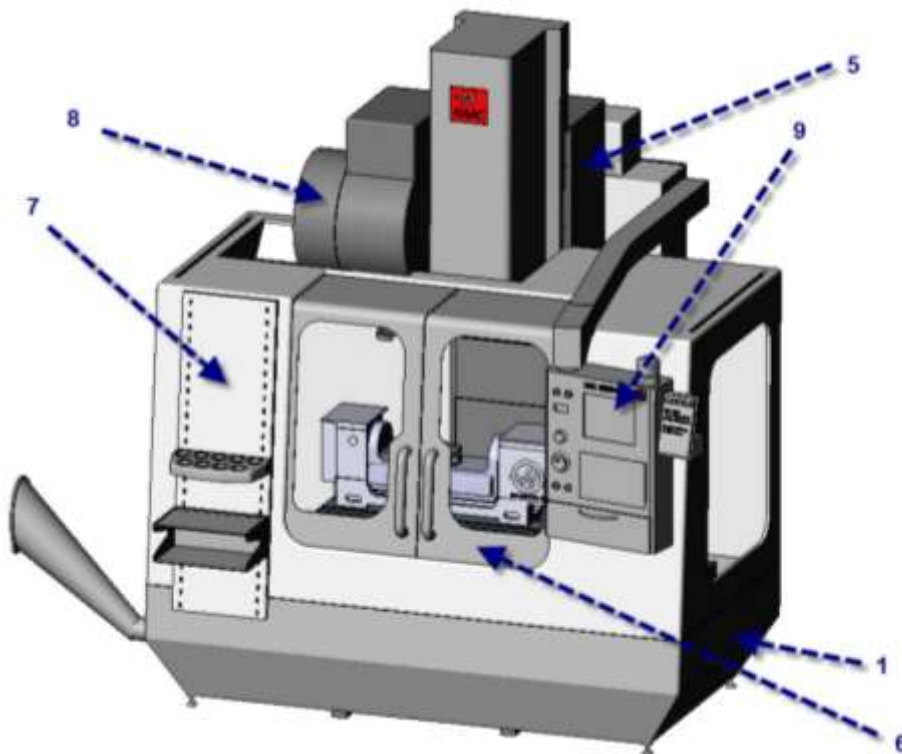


Рисунок 1.3 - Корпус вертикально-фрезерного верстата з ЧПУ

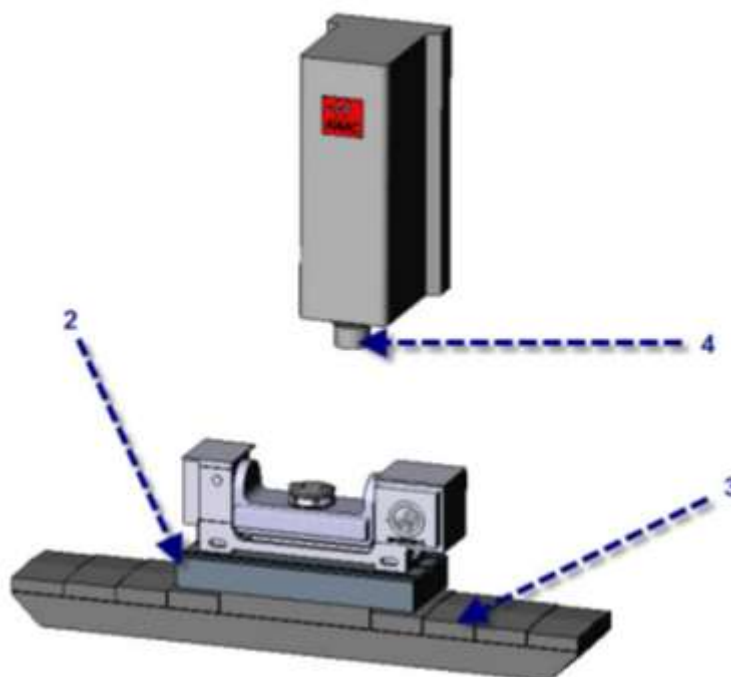


Рисунок 1.4 – Конструктивні елементи верстата

Станина 1 призначена для кріплення всіх вузлів та механізмів верстата. Робочий стіл 2 може переміщатися в поздовжньому (ліворуч/праворуч) та поперечному (вперед/назад) напрямки по напрямних 3. Пульт управління, або стійка ЧПУ 9, закріплений на кронштейні і може бути переміщений у зручне для оператора положення.

На робочому столі закріплюють заготовки та різні технологічні пристосування. Для цього на столі є спеціальні Т-подібні пази. Шпиндель 4 призначений для затискання ріжучого інструменту та надання йому обертання. Шпиндель закріплений на колоні 5, яка може переміщатися у вертикальному напрямку (вгору/вниз). Від точності обертання шпинделя, його жорсткості та вібростійкості значною мірою залежать точність та якість обробки. Таким чином, даний верстат є трьохосьовим.

Захисні кожухи 7 необхідні для забезпечення безпеки. Вони захищають оператора верстата від стружки і змащувально-охолоджуючої рідини (ЗОЖ), яка подається до зони обробки під тиском. Дверцята 6 забезпечують доступ у робочу зону верстата. У магазині інструментів 8 барабанного типу знаходиться набір різальних інструментів. При цьому вибір необхідного інструмента і фіксація його в шпинделі забезпечуються пристроєм автоматичної зміни інструменту і виконується за певною командою керуючої програми.

1.3. Функціональні складові (підсистеми) ЧПУ

Для того щоб зробити зі звичайного верстата з ручним керуванням верстат з ЧПУ, необхідно впровадити певні компоненти у його конструкцію. Не досить просто підключити верстат до комп'ютера, щоб він працював за програмою. Необхідно модернізувати механічну та електронну «начинку» верстата.

Умовно систему ЧПУ (СЧПУ) можна поділити на три підсистеми:

- підсистему управління;
- підсистему приводів;

- підсистему зворотного зв'язку.

Коротко розглянемо кожну з цих підсистем.

1.3.1. Підсистема керування

Центральною частиною всієї СЧПУ є підсистема управління. З одного боку, вона читає керуючу програму і віддає команди різним агрегатам верстата на виконання тих чи інших операцій. З іншого – взаємодіє з людиною, дозволяючи оператору верстата контролювати процес обробки.

Серцем підсистеми управління є контролер (процесор), який зазвичай розташований у корпусі стійки ЧПУ. Сама стійка має набір кнопок і екран (все разом називається інтерфейсом користувача) для введення і виводу необхідної інформації [16].



Рисунок 1.5 - Стійка MAPPS IV с CAM-системою ESPRIT

Системи управління можуть бути як закритими, так і відкритими, ПК-сумісними. Закриті системи управління мають власні алгоритми та цикли роботи, власну логіку. Виробники таких систем, як правило, не поширюють інформацію про їхню архітектуру. Системи закритого типу має важливу перевагу – вони, як правило, мають високу надійність, тому що всі компоненти системи пройшли тестування на сумісність.

Останнім часом стало з'являтися дедалі більше відкритих, ПК-сумісних систем керування. Їхня апаратна начинка практично така ж, як і в персональний комп'ютер. Перевага такого методу – у доступності та дешевизні електронних компонентів, більшість з яких можна придбати у звичайному комп'ютерному магазині, та у можливості оновлення внутрішнього програмного забезпечення.

Найсучасніші СЧПУ можуть бути оснащені САМ-системою, які дозволяють автоматизувати процес написання УП прямо на верстаті. Найбільш яскравий приклад – системи ЧПУ серії MAPPS IV японських верстатів Mori Seiki містять вбудоване програмне забезпечення ESPRIT від компанії DP Technology (США) і дозволяють оператору не тільки створити УП будь-якої складності, але і виконати її всебічну перевірку.

1.3.2. Підсистема приводів

Підсистема приводів включає різні двигуни і гвинтові передачі для остаточного виконання команд підсистеми управління – для реалізації переміщення виконавчих органів верстата.

Важливими компонентами підсистеми приводів є високоточні ходові гвинти. Якщо на верстаті з ручним керуванням робітник, обертаючи ручку, з'єднану з ходовим гвинтом, переміщає робочий стіл через гайку, закріплену на днищі стола, то удосконалений ходовий гвинт верстата з ЧПУ дозволяє виконувати переміщення виконавчого органу з мінімальним тертям та практично без люфтів. Усунення люфту дуже важливе з двох причин. По-перше, це необхідно для забезпечення надточного позиціонування. По-друге, тільки при дотримання цієї умови можливе нормальне попутне фрезерування.

Другою складовою підсистеми є двигун, а точніше – кілька двигунів. Обертання валу двигуна призводить до повороту високоточного ходового гвинта та лінійного переміщення робочого столу або колони. У конструкції верстатів використовуються крокові електродвигуни та серводвигуни.

Кроковий електродвигун - це електромеханічний пристрій, який перетворює електричний сигнал управління в дискретне механічне переміщення. Існує кілька основних видів крокових двигунів, які відрізняються за їх конструктивним виконанням:

- крокові двигуни зі змінним магнітним опором;
- крокові двигуни з постійним магнітним опором;
- гібридні двигуни.

Принцип роботи у всіх цих двигунів приблизно однаковий і достатньо простий.

Більшість сучасних крокових електродвигунів є гібридними, тобто поєднують переваги двигунів зі змінним магнітним полем і двигунів з постійними магнітами, мають набагато більше полюсів статора та зубів ротора, що забезпечує менший крок обертання.

Коли підсистема управління посилає кроковому двигуну електричний імпульс, то відбувається поворот на певний кут, який залежить від конструкції двигуна (наприклад, $0,7^\circ$). Якщо ходовий гвинт має крок 1 мм, то один імпульс змусить виконавчий орган верстата лінійно переміститися на $0,7/360 \times 1 = 0,0019$ мм. Ця величина називається роздільною здатністю системи, або ціною імпульсу. Не можна перемістити виконавчий орган на величину меншу, ніж розрішення системи. Таким чином, існує прямий зв'язок між двигуном, ходовим гвинтом і точністю переміщень верстата [16].

Найсучасніші верстати з ЧПУ не оснащуються кроковими двигунами. На їх зміну прийшли серводвигуни, які мають складнішу конструкцію. Серводвигуни, на відміну від крокових двигунів, працюють гладко, мають кращі характеристики, але ними важче керувати.

Для роботи з серводвигуном необхідна наявність спеціальних контролерів і пристроїв зворотного зв'язку, що, безсумнівно, призводить до збільшення вартості верстата.

1.3.3. Підсистема зворотного зв'язку

Підсистема зворотного зв'язку головним чином покликана забезпечувати підсистему управління інформацією про реальну позицію виконавчого органу верстата та про швидкість двигунів. Підсистема зворотного зв'язку може бути відкритого чи замкнутого типу.

Системи відкритого типу реєструють наявність або відсутність сигналу з підсистеми керування. На жаль, вони не можуть дати інформації про реальну позиції виконавчого органу та швидкості двигунів, тому в сучасних верстатах із ЧПУ практично не використовуються.

Системи замкнутого типу використовують зовнішні датчики для перевірки необхідних параметрів.

Як правило, у верстатах з ЧПУ для визначення положення та стану виконавчих органів використовуються два типи датчиків: лінійні датчики положення та обертові датчики положення [8, 16].

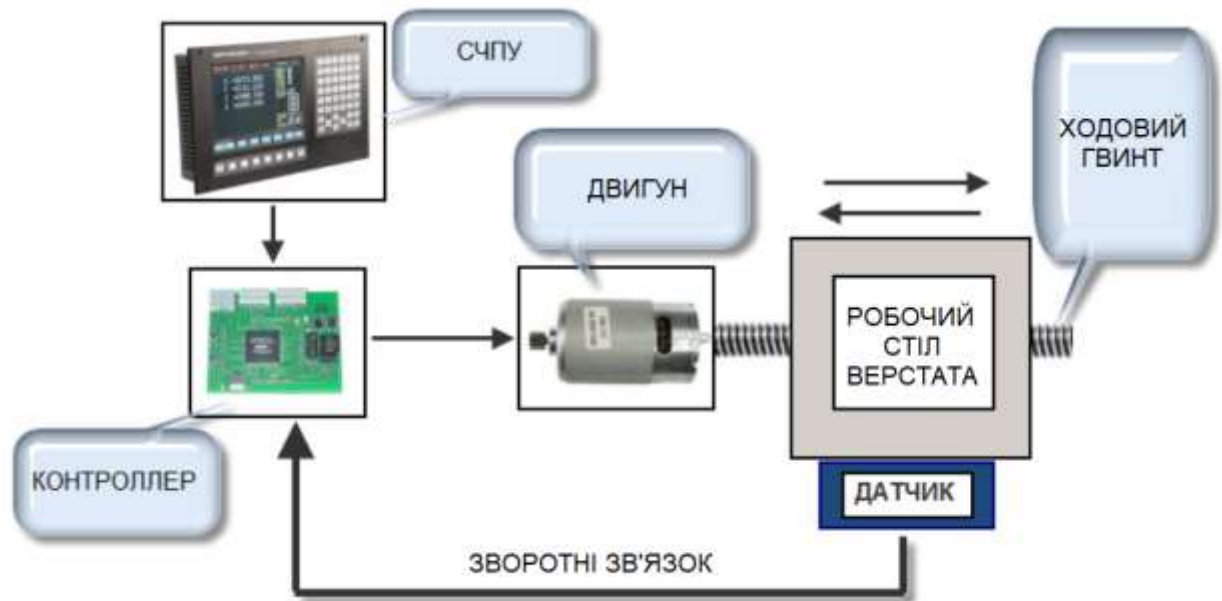


Рисунок 1.6 - Схема зворотного зв'язку на верстаті з ЧПУ

Обертовий датчик положення кріпиться на валу двигуна і дозволяє визначати його кутове положення. Цей датчик складається із джерела світла, оптичного датчика (приймача) і диска з маленькими радіальними прорізами

(растрами). Растровий диск закріплений на валу, джерело світла та оптичний датчик знаходяться з різних боків від диска.

Коли диск обертається, то промені проходять крізь його прорізи і падають на оптичний датчик. Оптичний датчик працює як перемикач, який включається або вимикається при попаданні на нього променів світла. Це дає можливість визначити відносне або абсолютне положення та напрямок обертання двигуна. Отримана інформація надсилається в підсистему управління.

Всі датчики, що обертаються, мають один істотний недолік. Оскільки вони встановлюються безпосередньо на валу двигуна, то не можуть безпосередньо виміряти лінійне становище виконавчого органу верстата. Вони дають розраховане положення, засноване на даних про крок ходового гвинта, і у високоточних верстатах для визначення лінійного положення не застосовуються. Їх можна використати в конструкції шпинделя для визначення числа оборотів і перебування його кутового становища.

Лінійні датчики положення використовуються практично у всіх сучасних верстатах з ЧПУ для точного визначення абсолютної або відносної позиції виконавчих органів [7]. Датчики містять два взаємопов'язані вузли – растрову шкалу та зчитуючу головку. Растрова шкала, розташована вздовж напрямних, є лінійкою з маленькими прямокутними прорізами (растрами). Зчитуюча головка, яка переміщається разом з виконавчим органом верстата, складається з освітлювачів, фотоприймачів та індикаторної пластини. Причому освітлювачі та індикаторна пластина знаходяться з одного боку від растрової шкали, а фотоприймачі – з іншого.

На індикаторній пластині також є дві растрових ділянки з зміщеним кроком формування двох сигналів. Коли зчитуюча головка переміщається вздовж растрової шкали, то світлові сигнали від освітлювачів проходять через індикаторну пластину, потім через шкалу і реєструються фотоприймачами. Отримані сигнали дають змогу визначити величину та напрямок переміщення.

На растровій шкалі може бути додаткова доріжка референтних міток для власного початку відліку.

Системі ЧПУ також необхідна інформація про швидкість, прискорення та сповільнення виконавчого органу верстата. Розрахунок величини прискорення та уповільнення необхідний для точного позиціонування. Справа в тому, що коли робочий стіл переміщається у потрібну позицію, він заздалегідь уповільнює швидкість переміщення, щоб «не промахнутися» повз потрібну координату.

Крім перелічених вище датчиків, звичайно ж, використовуються й інші. Температурні датчики (термопари) застосовують для визначення температури виконавчих органів, розрахунку температурного лінійного розширення компонентів верстата і для контролю над температурою мастила і повітря. Інфрачервоні датчики використовуються в верстатних системах автоматичного вимірювання.

1.3.4. Функціонування системи ЧПУ

Для функціонування всієї системи програміст створює керуючу програму, в якій міститься закодована інформація про траєкторію та швидкість переміщення виконавчих органів верстата, частоту обертання шпинделя та інші дані, необхідні для виконання обробки. Підсистема управління читає цю програму, розшифровує її і виробляє профіль переміщення [7, 8].

Профіль переміщення можна представити у вигляді графіка, який показує, в якій точці повинен бути виконавчий орган верстата через певні часові відтинки. Відповідно до профілю переміщення підсистема управління посилає на відповідний двигун строго визначену кількість електричних імпульсів. Двигун обертає ходовий гвинт, та виконавчий орган верстата переміщається у вказану позицію (координату). Датчики зворотного зв'язку надсилають у підсистему управління інформацію про дійсну досягнуту позицію виконавчого органу. Відбувається порівняння фактичної та необхідної

(теоретичної) позицій. Якщо між ними є різниця (помилка переміщення), то підсистема управління посилає скориговану на величину помилки кількість електричних імпульсів на двигун. Цей процес повторюється знову і знову, поки виконавчий орган станка не досягне необхідної позиції з високою точністю.

Висновки за розділом

В сучасних умовах машинобудівного виробництва широко використовуються верстати з числовим програмним управлінням. Вони виконують ті самі функції, що й звичайні верстати з ручним керуванням, але з високою продуктивністю, точністю розмірів та якістю оброблюваних поверхонь. Основною перевагою верстатів з ЧПУ є високий рівень автоматизації виробництва та можливість працювати практично автономно та без зупинок. Основним завданням оператора є виконання підготовчо-заклучних операцій, зокрема підбору та налагодження інструменту. Якісний підбір інструменту дозволяє максимально завантажити верстат, збільшити продуктивність виробництва та зменшити собівартість виробів.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ РІЖЧОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ МЕТАЛООБРОБНИХ ВЕРСТАТІВ ТА ЦЕНТРІВ

Загальні поняття про конструкцію та геометрію ріжучого інструмента розглянуті в ДСТУ 2233:2021 «Інструменти ріжучі. Терміни та визначення загальних понять» [10]. Ріжучий інструмент буває лезовим чи абразивним. У цьому стандарті наведені наступні види лезового інструменту: різець, фреза, сверло, зенкер, розгортка, зенковка, цековка, мітчик, плашка, протяжка, шевер. З абразивним інструментом дозволяє ознайомитись ДСТУ ISO 603-16:2019 «Абразиви зі зв'язкою. Розміри» [11].

2.1. Поняття ріжучого клина для лезового інструменту

Ріжучий інструмент можна поділити на дві частини: робочу частину та хвостовик у вигляді стрижня, за допомогою якого відбувається кріплення інструменту. На верстатах з ЧПУ, як правило, ріжучий інструмент безпосередньо не закріплюється. Для цього використовується інструментальне оснащення. Робоча частина містить лезо – клиноподібний елемент для занурення в матеріал заготовки та відділення стружки.

Список параметрів різального інструмента, що визначають його геометрію та працездатність, досить великий. Серед ключових можна виділити параметри, що характеризують ріжучий клин: передній кут γ , задній кут α .

Загальний вигляд ріжучого клину наведено на рисунку 2.1.

На рис. 2.1 лезо інструменту рухається з права наліво зі швидкістю різання v , видаляючи стружку. Поверхня, на яку чиниться вплив при обробці і яка частково або повністю видаляється при обробці, називається оброблюваною поверхнею. Оброблена поверхня – це поверхня, утворена на заготовці після обробки [2, 5, 10, 19].

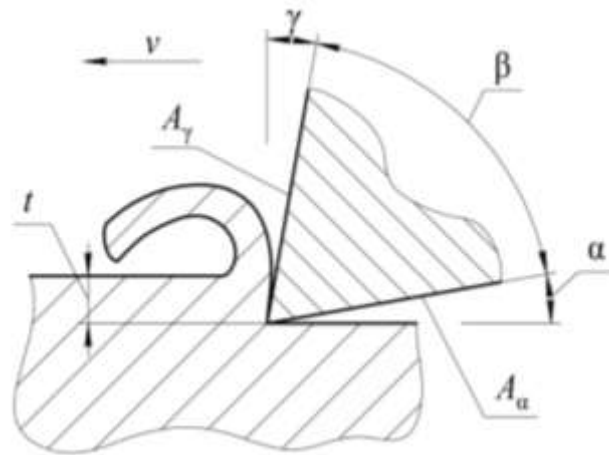


Рисунок 2.1 - Ріжучий клин у процесі видалення стружки

Зі стружкою і видаляємим шаром стикається передня поверхня леза A_γ . Передній кут γ – кут між статичною основною площиною, яка на рисунку переходить у вертикальну лінію, та передньою поверхнею.

Величина переднього кута зазвичай вибирається в межах від -10° од 15° . Більше значення знижує міцність клину поблизу вершини, але й знижує силу різання, і навпаки.

Задня поверхня леза A_α знаходиться в контакті з обробленою поверхнею на заготовці. Задній кут α – це кут між задньою поверхнею леза і обробленою поверхнею. Задній кут необхідний для зниження тертя про обробленій поверхню. Він завжди позитивний і може досягати 15° .

Кут загострення можна визначити, як кут між передньою та задньою поверхнями. Кут загострення (при позитивному γ) в сумі з γ та α дає 90° . При негативному γ кут β визначають відніманням з 90° кутів γ і α . При конструюванні ріжучого інструменту достатньо задати кути γ і α [19].

Перетин передньої та задньої поверхні утворюють ріжучу кромку. У перерізі, наприклад, як на рис. 2.1, ріжуча кромка переходить у кточку.

Для отримання більш міцної ріжучої кромки вона може бути виконана заокругленою або з зміцнювальною фаскою (рисунок 2.2). Радіус заокруглення ρ і ширина фаски f завжди менші глибини різання t , інакше кут γ_ϕ вважався б не кутом фаски, а від'ємним переднім кутом.

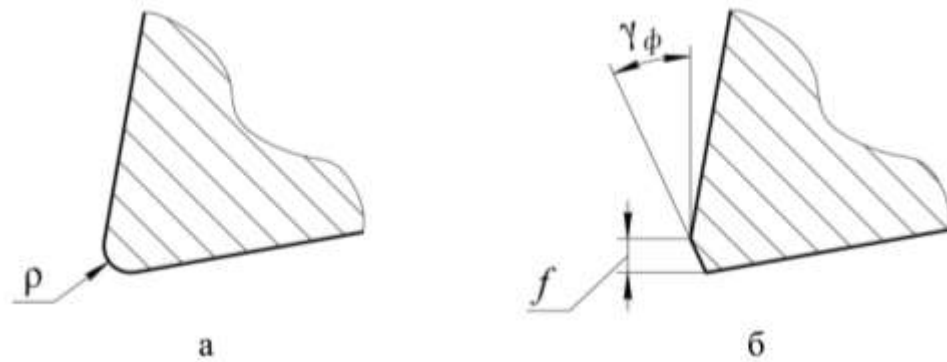


Рисунок 2.2 - Ріжучий клин

а – із заокругленою ріжучою кромкою;

б – зі зміцнювальною фаскою на ріжучій кромці

Такі способи зміцнення роблять кромку менш гострою і призводять до збільшення сили різання, але підвищують період стійкості різального інструменту. Існують також комбінації представлених видів зміцнення.

2.2. Елементи режиму різання

Режим різання – сукупність значень швидкості різання, подачі або швидкості подачі та глибини різання [2, 5].

Швидкість різання v – швидкість точки ріжучої кромки або заготовки в головному русі різання. Швидкість різання при лезовій обробці вимірюється в м/хв. Швидкість різання на верстатах з ЧПУ зазвичай задають вказанням частоти обертання шпинделя головного руху.

Подачу можна задати як подачу на оберт S_o , мм/об. Подача S_o відповідає зміщенню за один оберт інструменту або заготовки. Вона задається, наприклад, при точінні або свердлінні. Можна задати подачу на зуб S_z , мм/зуб. Вона відповідає повороту інструмента або заготовки на один кутовий крок зубців ріжучого інструменту та призначається при фрезеруванні.

Швидкість подачі v_s – швидкість точки ріжучої кромки в русі подачі. У керуючій програмі для фрезерного верстата з ЧПУ найчастіше вказують швидкість подачі, а не подачу на зуб.

Глибина різання t – це найкоротша відстань між оброблюваною та обробленою поверхнями.

2.3. Ріжучий клин при точенні, фрезеруванні, свердлінні

Для точіння застосовуються різці. Різець – однолезовий інструмент. На токарних верстатах обробка ведеться з обертальним головним рухом заготовки, а сам різець має можливість руху подачі у кількох напрямках.

На рисунку 2.3 наведено переріз заготовки та різальної частини різця під час обробки циліндричної поверхні. Швидкість різання v виходить за рахунок обертання заготовки з частотою n . Швидкість подачі v_s (тут і на схемах нижче) показано для інструменту. Передня поверхня ріжучого клина ламана. Така форма дозволяє завивати і ламати зрізану стружку і називається стружколом. При цьому стружка не повністю повторяє форму передньої поверхні, торкаючись лише в деяких місцях [21].

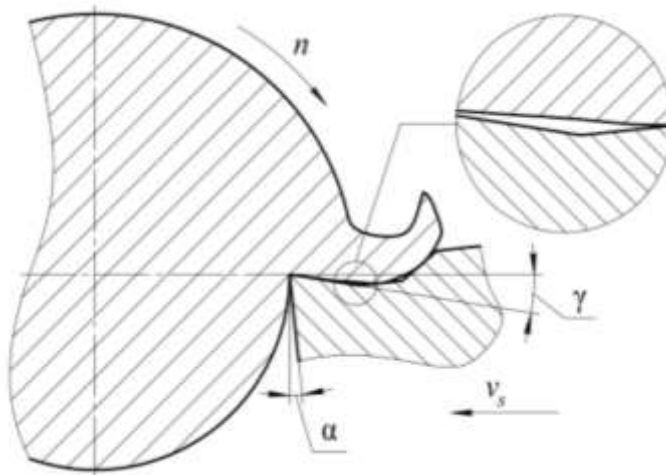


Рисунок 2.3 - Робота ріжучого клина при точінні

Для фрезерування застосовуються різні за конструкцією фрези, найчастіше багатолезові (багатозубі). Обробка відбувається при обертальному головному русі фрези, хоча з одним рухом подачі, напрямком якого не збігаються з віссю обертання.

Обробка кінцевою фрезою та параметри ріжучого клина показані у розрізі рисунку 2.4. Передня та задня затилована поверхні є криволінійними, тому кути γ і α відкладаються від дотичної до відповідної поверхні у вершині зуба фрези.

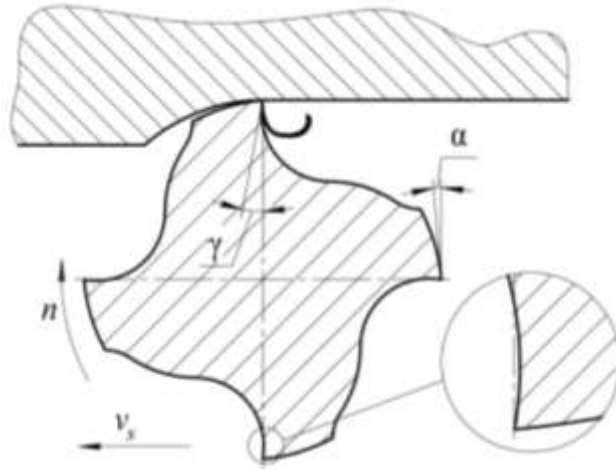


Рисунок 2.4 - Робота ріжучого клина при фрезеруванні

На рисунку наведено поперечний переріз, але кути γ , α та інші параметри зуба за стандартом на фрези повинні призначатися в перерізі, перпендикулярному гвинтовому ріжучій кромці зуба [10]. З іншого боку, у програмном забезпеченні для верстатів, на яких виготовляють фрези, ці параметри задаються саме у поперечному перерізі.

Осьовий інструмент – це лезовий інструмент для обробки з обертальним головним рухом та рухом подачі вздовж осі головного руху. Свердло – осьовий ріжучий інструмент для обробки отворів в суцільному матеріалі або збільшення діаметра наявного отвору.

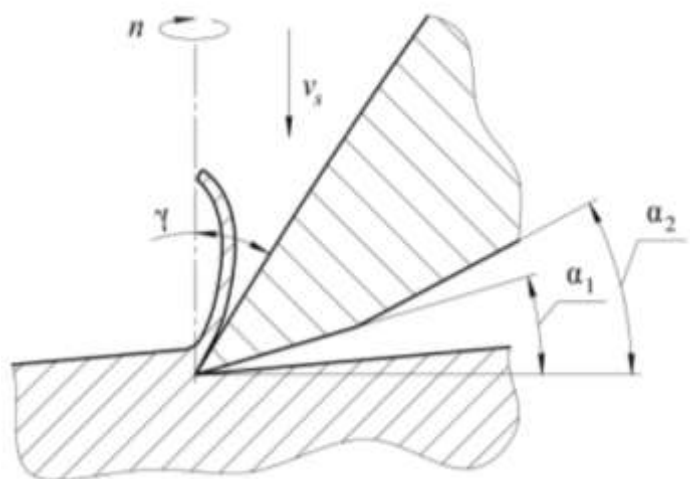


Рисунок 2.5 - Ріжучий клин при свердлінні

На рисунку 2.5 можна спостерігати ріжучий клин пера свердла в перерізі при обробці отвору з вертикальною віссю (стінки отвору умовно не показані).

У обертальному русі ріжучий клин рухається справа наліво, а в русі подачі вниз в осьовому напрямку. Передній кут у свердла досить великий. Цей приклад створено на основі розмірів існуючого свердла діаметром 6 мм, у якого передній кут від центру до периферії змінюється від -2° до 33° . У цього свердла дві задніх поверхні: перша з кутом α_1 та друга з кутом α_2 [19].

2.4. Різання абразивним інструментом

Говорити про різальний клин при абразивній обробці фактично не можна, тому що в різанні одночасно бере участь велика кількість зерен. При цьому у зерен довільна форма і випадкове розміщення на поверхні інструменту, що призводить до різної товщині стружки, яка знімається кожним окремим зерном (рис. 2.6).

Передній кут фактично виходить від'ємним. Задній кут є, але через те, що зерна можуть виступати зі зв'язки кола незначно, зв'язка також контактує з поверхнею різання, що підвищує тертя.

Процес різання є особливим, зі складною фізикою процесу. Роботи з вивчення цього процесу ведуться і нині у зв'язку з підвищенням допустимої швидкості різання, нових конструкцій інструменту і т. д. Вивчається стружкоутворення (тип, форма, усадка), наростоутворення,

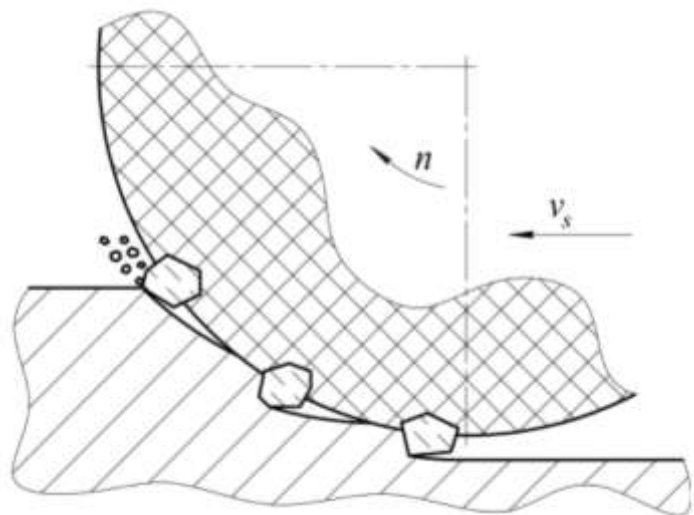


Рисунок 2.6 - Робота ріжучих абразивних зерен під час плоского шліфування

сили різання, тепловиділення, параметри поверхневого шару оброблюваної поверхні.

2.5. Інструментальні матеріали та рекомендації щодо їх застосування

Як інструментальні матеріали для ріжучої частини інструменту, який використовується на верстатах з ЧПУ, застосовуються швидкорізальні сталі, тверді сплави, мінеральна кераміка, надтверді матеріали.

Основні вимоги до інструментальних матеріалів полягають у високих значеннях наступних показників:

- твердість;
- міцність;
- температуростійкість (червоність);
- теплопровідність;
- зносостійкість.

Також важливим є низький коефіцієнт тертя [20].

Вища твердість різального інструменту дозволяє йому занурюватись у менш твердий матеріал заготовки. Найменша твердість у швидкорізальних сталях і далі підвищується по порядку, у якому їх було перераховано. За сукупністю міцнісних характеристик найбільші показники у швидкорізальних сталях і далі вони знижуються від твердих сплавів, до мінералокераміки та надтвердих матеріалів. Температуростійкість характеризується критичною температурою, при нагріванні вище за яку твердість матеріалу ріжучої частини починає знижуватися через структурні перетворення. Висока теплопровідність дозволяє швидше відводити тепло, яке утворюється в процесі різання, і призводить до меншого нагрівання ріжучої кромки.

Неабияку важливість має вартість виготовлення ріжучої частини з обраного матеріалу, яка залежить від наявності в складі дорогих рідкісноземельних хімічних елементів, оброблюваності, технології виготовлення.

Для інших частин інструменту застосовують різні конструкційні сталі. Для підвищення вібростійкості корпусна частина інструменту або частина інструментальної оснастки можуть виготовлятися із твердих сплавів або матеріалів з високим вмістом вольфраму (більше 90%) з додаванням заліза та нікелю, що веде до підвищення демпфуючих властивостей і особливо важливе під час роботи з великими вильотами інструмента.

2.5.1. Швидкорізальні сталі

До початку впровадження швидкорізальних сталей активно використовувалися інструментальні вуглецеві та леговані сталі марок вуглецевих сталей – У7...У13, та легованих сталей – ХВГ, 9ХС та інші. Їхня теплостійкість на рівні 150...200 °С не дозволяє вести продуктивну обробку заготовок. Зараз вони знаходять застосування в основному для ручного інструменту, який працює з низькими швидкостями різання.

Швидкорізальні сталі – це високолеговані сталі, наприклад, Р18, Р9, Р9К10, Р9К5, Р6М5К5, Р18К5Ф2. Основним легуючим елементом є вольфрам. Його вміст у відсотках указується за літерою Р. Також ці сталі легуються хромом, кобальтом, молібденом, ванадієм. Теплостійкість 600...650 °С, твердість 68...70 HRC [26].

Виготовляються сталі, леговані великою кількістю елементів з високою теплостійкістю до 720 °С. Інструменти з швидкорізальних сталей дозволяють вести обробку конструкційних сталей з твердістю до 30 ... 35 HRC [20].

У зарубіжній літературі швидкорізальні сталі позначаються як HSS – high speed steel.

Заготовки для сучасного інструменту із швидкорізальних сталей одержують методами порошкової металургії. Для верстатів з ЧПУ з швидкорізальних сталей виготовляють свердла, центровочні свердла, зенковки, рідше цілісні фрези та розгортки.

2.5.2. Тверді сплави

Металокерамічний твердий сплав – це інструментальний матеріал, який складається з твердих частинок карбідів, нітридів, карбонітридів, зцементованих металевою зв'язкою.

Вирізняють такі групи твердих сплавів:

- вольфрамова (сплави ВК6, ВК10 та інші);
- титановольфрамова (сплави Т15К6, Т5К10 та інші);
- титанотанталовольфрамова (сплави ТТ8К6 та інші);
- безвольфрамова (ТН20, КНТ16).

Вольфрамовий твердий сплав складається з зерен карбіду вольфраму WC пов'язаного кобальтом Co . Титановольфрамовий сплав – це твердий розчин зерен WC в карбіді титану TiC і надлишковий WC або тільки розчин WC TiC , пов'язаний Co . У титанотанталовольфрамовий сплав додатково входять зерна карбіду танталу TaC . Безвольфрамові сплави складаються з зерен карбіду титану або карбонітриду титану, зцементованих нікелем та молібденом.

У сплавах групи ВК цифра означає вміст кобальту у відсотках, наприклад, у сплаві ВК8 міститься 8% Co . Більше твердими є зерна WC , тому при меншому вмісті Co (і більшому WC) твердий сплав буде більш зносостійким, але і більш крихким. При збільшенні вмісту Co крихкість знижується. Для операцій різання зазвичай застосовують сплави, які містять 6...12% Co . Також до сплаву можуть входити добавки, що перешкоджають зростання зерна - Cr_3C_2 і VC .

Розмір зерна в сплавах групи ВК, що застосовуються для операцій різання, знаходиться в межах від 0,2 до 0,8 мкм і вибирається в залежності від матеріалу, що обробляється, виду операції [28].

Необхідність використовувати меншу кількість вольфраму або не використовувати його зовсім пов'язано з невеликими запасами цього металу і, мабуть, з дорогим процесом виробництва виробів із вольфрамом.

Теплостійкість 900 ... 1000 °С, твердість 80 ... 92 HRA. Інструменти з твердих сплавів дозволяють вести обробку конструкційних сталей із твердістю до 45...55 HRC [20].

Тверді сплави і переважно вольфрамові тверді сплави можна віднести до найбільш поширеного інструментального матеріалу, що застосовується на операціях різання в машинобудівних виробництвах. Причиною цього є співвідношення вартісних і ріжучих властивостей, отримане на даному етапі розвитку промисловості.

Класифікація ТС здійснюється за ДСТУ ISO 3738-1:2021. У цьому стандарті наведено три групи ТС: вольфрамова, титановольфрамова, титанотанталовольфрамова; а також представлені марки, що належать до цих груп. Описані області застосування за марками ТС. Наприклад, BK8 рекомендується для чорнового точіння, фрезерування, свердління сірого чавуну, кольорових металів, а також для обробки нержавіючих сталей, жароміцних сталей та сплавів, титанових сплавів.

У цьому стандарті наводиться відповідність марок ТС міжнародній класифікації. За цією класифікацією МС поділяються на три основні групи Р (синій колір маркування), М (жовтий колір), К (червоний колір) в залежності від матеріалу оброблюваної заготовки і типу сформованої стружки. За видами та режимами обробки відбувається подальший поділ на групи застосування, які можуть бути позначені числом від 01 до 50 [13, 20]. Зміна цього числового індексу також вказує на зміну міцності та зносостійкості ТС. Наприклад, сплави, позначені Р20, застосовуються для обробки сталі, сталевого лиття, ковкого чавуну, кольорових металів, що дають зливну стружку. К40 підходить для кольорових металів, деревини, пластмаси, що дають стружку надлому.

З 2021 року введено в дію ISO 513-2019, який відповідає чинному міжнародному стандарту ISO 513:2012. За ним класифікуються тверді режущі матеріали: тверді сплави, кераміка, алмаз, нітрид бору.

У стандарті зазначено шість груп застосування і їх колірне позначення:

Р (синій) – сталь,

M (жовтий) – нержавіюча сталь,

K (червоний) – чавун,

N (зелений) – кольорові метали, неметалеві матеріали,

S (коричневий) – жароміцні сталі та сплави, титановісплави,

H (сірий) – загартована сталь, зміцнений, вибілений чавун.

Основні групи також поділяються на групи застосування з позначенням від 01 до 50. Це позначення можна зустріти у всіх каталогах різального інструменту, виготовленого з твердого сплаву вітчизняними та зарубіжними виробниками. Деякі виробники виводять неметалеві композиційні матеріали групи N в окрему групу.

2.5.3. Мінеральна кераміка

До мінеральної кераміки можна відносити різні оксиди, нітриди, карбіди, борида [3]. Виділяють такі групи мінералокераміки, що застосовується на операціях різання:

- оксидна (біла) кераміка;
- оксидно-карбідна (чорна) кераміка;
- кремнієва кераміка.

Оксидна кераміка складається з оксиду алюмінію Al_2O_3 і легуючих добавок. Пластини виготовляють холодним пресуванням та спіканням. Оксидно-карбідна кераміка містить до 60% Al_2O_3 , до 20...40% карбіду титану TiC , до 20...40% оксиду цирконію ZrO_2 та інших карбідів. Пластини виготовляють гарячим пресуванням. Пластини з кремнієвої кераміки як основу мають нітрид кремнію Si_3N_4 . Вони додатково легуються ітрієм, цирконієм, алюмінієм і т. д. Пластини виготовляють гарячим пресуванням. Їх теплостійкість 1200 ... 1500 °C, а твердість 90 ... 96 HRA.

Оксидну кераміку застосовують для напівчистої та чистої обробки нетермооброблених сталей, чавунів. Інструменти з карбідної кераміки дозволяють вести обробку конструкційних сталей із твердістю до 30...65 HRC.

Нітридна кераміка служить для напівчистої обробки чавунів. З кераміки виготовляють змінні пластини для токарних різців та фрез. Область застосування інструмента з керамічною ріжучою частиною постійно розширюється.

2.5.4. Надтверді матеріали

До надтвердих матеріалів відносяться алмаз та модифікації нітриду бору. У промисловості частіше зустрічаються синтетичні алмази, дещо поступаються за характеристиками дефіцитним природним алмазам. Нітрид бору – штучний матеріал. Надтверді матеріали – різноманітна група матеріалів, які відрізняються за технологією їх отримання та за властивостями.

Для обробки різанням використовують полікристалічний кубічний нітрид бору (КНБ) та полікристалічний алмаз, який виготовляють за технологією спікання.

Наведені дані щодо твердості та теплостійкості часто відрізняються залежно від технології отримання НТМ. Теплостійкість композитів нітриду бору до 1500 °С, твердість до 40...100 HV. Теплостійкість штучного алмазу до 900 °С, а твердість до 120...150 HV. Коефіцієнт тертя природного алмазу в парі з кольоровими металами знаходиться в межах 0,05...0,08, а штучного алмазу - 0,10 ... 0,26 [3, 20].

Інструмент, оснащений модифікаціями нітриду бору, використовують для обробки чавунів, загартованих сталей до 60 HRC, оскільки нітрид бору практично інертний до чавунів і сталей. Алмаз має високий ступінь хімічної взаємодії зі сталями, тому для їх обробки не придатний. Інструмент з полікристалічним алмазом застосовують для обробки сплавів на основі кольорових металів, неметалічних матеріалів (пластмаси, деревини), твердих сплавів до спікання.

Застосування інструменту з НТМ дозволяє перебудувати технологічний процес у бік скорочення операцій. Наприклад, обробку заготовок із

загартованих сталей різцями з КНБ можна проводити на токарних верстатах, реалізувавши «тверде» точіння, тобто можна відмовитися від операцій шліфування.

Конструктивно ріжучу частину із НТМ виконують як вставки на пластинах для токарних різців і корпусних фрез, незнімні вставки для чистових кінцевих фрез. Ці вставки вирощуються на підкладці з твердого сплаву, а потім припаюються до пластини чи фрезі. Зерна із НТМ застосовують для виготовлення шліфувального інструменту.

2.5.5. Абразивні матеріали

Абразивний матеріал – природний або штучний матеріал для абразивної обробки. Застосовуються такі види абразивних матеріалів:

- електрокорунд;
- карбід кремнію;
- карбід бору;
- кубічний нітрид бору;
- синтетичний алмаз.

Електрокорунд буває наступних видів:

- нормальний;
- білий;
- монокорунд;
- цирконієвий;
- легований (титанистий, хромистий, хромо-титанистий).

Карбід кремнію буває зеленим та чорним. Абразивні зерна (частки абразивного матеріалу) за допомогою зв'язки утворюють шліфувальний інструмент певної геометричної форми. На верстатах з ЧПУ застосовують шліфувальні круги різної форми.

2.5.6. Зносостійкі покриття

Зносостійкі покриття наносяться на ріжучу частину інструменту, виготовленого із різних матеріалів. Для покриття твердих сплавів застосовують нітриди, карбонітриди, алмазоподібні покриття. Покриття мають товщину до 10 мкм, можуть бути одношаровими, багатошаровими, градієнтними.

Одне з перших покриттів - нітрид титану TiN має золотистий колір. Зараз воно застосовується у багатошарових покриттях з іншими шарами, що складаються з $(Ti,C)N$ та Al_2O_3 . Багатошарові покриття найчастіше застосовують для змінних пластин. На цілісні фрези та свердла наносять одношарові покриття $TiAlN$ та $AlCrN$.

Висновки за розділом

Ріжучий інструмент складається з робочої частини та елементів його кріплення на верстаті або інструментальній оснастці. Для якісного виконання операцій обробки різанням технолог має володіти знаннями про технологічні параметри процесу різання, знати особливості геометрії ріжучої частини інструменту, знати матеріали, з яких його виготовлено та сферу застосування. Оскільки кожен з технологічних матеріалів характеризується різними фізико-механічними та міцнісними характеристиками, для забезпечення можливості його обробки промисловістю розроблені різноманітні ріжучі матеріали. В даний час широкого розповсюдження набули інструменти з швидкорізальної сталі, твердих сплавів та металокераміки.

3. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ОБРОБНИХ ЦЕНТРАХ ТА ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПУ

3.1. Загальні відомості про процес фрезерування

Існують різні види механічної обробки: точіння, фрезерування, свердління, стругання та ін. Незважаючи на конструкційні відмінності верстатів та особливості технологій, керуючі програми для фрезерних, токарних, електроерозійних, деревообробних та інших верстатів з ЧПУ створюються за одним принципом.

В нашій роботі основну увагу ми приділяємо фрезерній обробці. Розглянемо деякі елементи теорії фрезерування, необхідні для створення керуючих програм верстатів з ЧПУ.

Процес фрезерування полягає в зрізанні із заготовки зайвого шару матеріалу для отримання деталі необхідної форми, розмірів і шорсткості оброблюваних поверхонь. При цьому на верстаті здійснюється переміщення інструмента (фрези) відносно заготовки або переміщення заготовки відносно інструменту.

Для здійснення процесу різання необхідно мати два рухи – головний та рух подачі [5]. При фрезеруванні головним рухом є обертання інструменту, а рухом подачі - поступальний рух заготовки. У процесі різання відбувається утворення нових поверхонь шляхом деформування та відділення поверхневих шарів з утворенням стружки.

При обробці розрізняють зустрічне та попутне фрезерування. Попутне фрезерування, або фрезерування по подачі, - спосіб, за якого напрямки руху заготовки та вектора швидкості різання збігаються. При цьому товщина стружки на вході зуба в різання максимальна і зменшується до нульового значення на виході. При попутному фрезеруванні умови входу пластини у різання сприятливіші. Вдається уникнути високих температур у зоні різання та мінімізувати схильність матеріалу заготовки до зміцнення. Велика товщина

стружки є такому разі є перевагою. Сили різання притискають заготовку до столу верстата, а пластини – у гнізда корпусу, сприяючи їх надійному кріпленню. Попутне фрезерування є кращим за умови, що жорсткість обладнання, кріплення і сам оброблюваний матеріал дозволяють застосовувати даний метод [12].

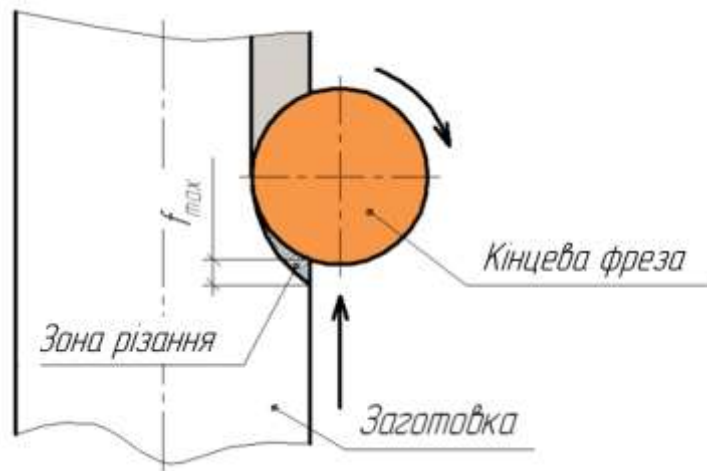


Рисунок 3.1 - Попутне фрезерування

Зустрічне фрезерування, яке іноді називають традиційним, відбувається, коли швидкості різання та рух подачі заготовки спрямовані у протилежні сторони. При врізанні товщина стружки дорівнює нулю, а на виході – максимальна. У разі зустрічного фрезерування, коли пластина починає роботу зі стружкою нульової товщини, виникають високі сили тертя, що віджимають фрезу та заготовку одне від одного. У початковий момент врізання зуба процес різання більше нагадує вигладжування, з супутніми йому високими температурами та підвищеним тертям. Найчастіше це загрожує небажаним зміцненням поверхневого шару деталі. На виході через велику товщину стружки в результаті раптового розвантаження зубця фрези зазнають динамічного удару, що призводить до вифарбовування та значного зниження стійкості.

У процесі фрезерування стружка налипає на ріжучу кромку і перешкоджає її роботі в наступний момент врізання [19]. При зустрічному фрезеруванні це може призвести до заклинювання стружки між пластиною і

заготовкою і, відповідно, до пошкодження пластини. Попутне фрезерування дозволяє уникати подібних ситуацій. На сучасних верстатах з ЧПУ, які мають високу жорсткість, вібростійкістю і у яких відсутні люфти в парі гвинт-гайка, застосовується в основному попутне фрезерування.

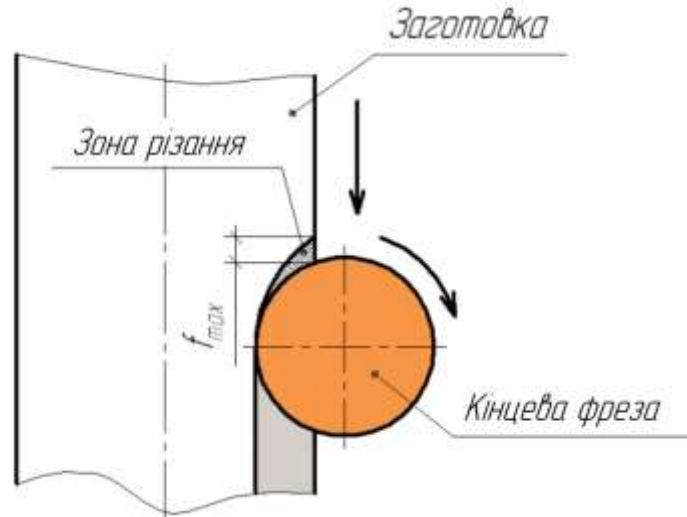


Рисунок 3.2 - Зустрічне фрезерування

Припуск – це шар матеріалу заготовки, який необхідно видалити при обробці. Припуск можна видалити в залежності від його величини за один чи кілька проходів фрези [1, 24].

Прийнято розрізняти чорнове та чистове фрезерування. При чорновому фрезеруванні обробку роблять з максимально допустимими режимами різання для вибору найбільшого об'єму матеріалу за мінімальний час. При цьому, як правило, залишають невеликий припуск для подальшої чистової обробки. Чистове фрезерування використовується для отримання деталей із остаточними розмірами та високою якістю поверхонь.

3.2. Ріжучий інструмент для фрезерних обробних центрів

Увесь інструмент, який використовується для обробки металів, можна умовно поділити на ріжучий інструмент (фрези, свердла, мітчики та ін.), який безпосередньо здійснює механічну обробку (різання), та допоміжний, який

служує для закріплення різального інструменту в шпинделі верстата (патрони, державки, оправки).

Верстати можуть мати різні базові конуси шпинделя, а ріжучий інструмент, в свою чергу, виготовляється з різними видами хвостовиків.

Базовий конус верстата – вихід шпинделя, виконаний відповідно до одного із стандартних варіантів виконання. Розрізняють метричні конуси (7:24 або ISO 7388.1), конуси Морзе (вітчизняні фрезерні верстати або обладнання свердлильної групи), HSK (сучасні верстати, призначені для високошвидкісної обробки) [26].

Таким чином, допоміжний інструмент є певним перехідником між шпинделем верстата та ріжучим інструментом. Сукупність ріжучого та допоміжного інструменту називається інструментальним блоком. Відмітимо, що в інструментальному блоці можуть бути кілька допоміжних інструментів і лише один ріжучий (основний). Великі інструментальні блоки знижують жорсткість технологічної системи і зменшують точність установки різального інструменту, внаслідок чого погіршуються умови обробки та якість виробу.



Рисунок 3.3 - Фрези з механічним кріпленням ріжучих пластин

За технологічною ознакою розрізняють фрези для обробки площин, пазів та шліців, зубчастих коліс, різьблень, фасонних поверхонь, для розрізання матеріалу тощо.

За конструктивною ознакою фрези розрізняють:

- за будовою фрези (цілісні, складні, зі вставними зубами);
- за конструкцією зуба (з гострозаточеними, з затилованими зубами);
- за напрямом зуба (прямі, похилі, гвинтові зуби);
- за способом кріплення (насадні, хвостові – з циліндричним або конічним хвостовиком).

За матеріалом, з якого вони виготовлені: швидкорізжуча сталь, твердий сплав та інші.

У сучасній інструментальній практиці левову частку становить цільний твердосплавний або швидкорізальний інструмент, а також інструмент з механічним кріпленням ріжучих частин (пластин).

Тверді сплави допускають роботу зі швидкостями різання, що перевищують у 5–10 разів швидкості обробки швидкорізальними інструментальними сталями, мають більшу температурну стійкість і зносостійкість [3].

При виборі фрези технолог насамперед керується такими параметрами:

- діаметр і довжина робочої частини;
- форма профілю робочої частини;
- матеріал робочої частини;
- кількість зубів (ріжучих граней);
- форма і розмір кріпильної частини.



Рисунок 3.4 - Цілісні кінцеві фрези

Звичайна кінцева фреза має кілька ріжучих зубів (2, 3, 4, 6 або 8) та прямокутний профіль ріжучої частини [26]. Зуби фрези розділені гвинтовими канавками, які забезпечують відведення стружки із зони різання. У разі, коли необхідно отримати перехід від однієї поверхні до іншої з певним радіусом, застосовують фрези зі сферичним кінцем або з невеликим радіусом на основі профілю. Фрези зі сферичним кінцем і кульові фрези часто використовують користуються при обробці поверхонь складної форми, наприклад штампів та прес-форм. Конічні фрези призначені для фрезерування похилих поверхонь.

Кінцеві фрези найбільш універсальні - вони дозволяють обробляти площини, пази та виступи. Існують і інші типи фрез: торцеві, дискові, пазові. Ці фрези, зазвичай, служать до виконання фрезерних операцій «вузької» спрямованості. Наприклад, торцева фреза – це найкращий інструмент для фрезерування відкритої площини, а дискова – для обробки глибокого вузького паза за прохід.

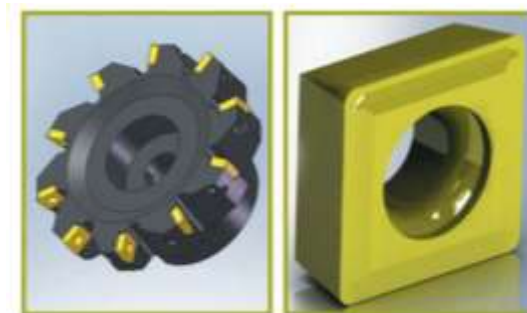


Рисунок 3.5 - Торцева фреза та ріжуча пластина

Широкого поширення набули фрези з механічним кріпленням пластин з твердого сплаву та інших інструментальних матеріалів. На корпусах таких фрез є спеціальні посадкові місця, в які встановлюються пластини. Кріплення пластин до сталевого корпусу, як правило, здійснюється за допомогою звичайних гвинтів. Пластини мають кілька граней, і у випадку зношування однієї з них існує можливість розгорнути пластину «свіжою» гранню. Коли спрацьовуються всі грані, пластину можна викинути і поставити нову. Сучасні ріжучі пластини проектується з урахуванням роботи у різних умовах та відрізняються геометрією передньої поверхні.

Крок зубів фрези може бути великим, нормальним та дрібним. Фрези з різним кроком зубів призначені для різних умов обробки з точки зору її стабільності, енерговитрат та наявності схильності до вібрацій. Зменшена кількість пластин – стандартне рішення для продуктивної обробки при недостатній потужності верстата або низької жорсткості системи ВПД (верстат – пристрій – інструмент – деталь). Фрези із нормальним кроком універсальні і підходять для більшості операцій. Дрібний крок чи максимальне число пластин на корпусі фрези даного діаметра рекомендується використовувати для обробки при високій жорсткості системи ВПД, а також при фрезеруванні матеріалів, що дають елементну стружку, титанових та жароміцних сплавів.

На товщину шару, який зрізається при фрезеруванні впливає головний кут в плані, який вимірюється між головною ріжучою кромкою пластини і оброблюваною поверхнею. Зменшення кута в плані веде до утворення тоншої стружки для цього діапазону подач. Зменшення товщини стружки відбувається через розподіл одного і того ж об'єму знімаемого металу на більшій довжині ріжучої кромки. При меншому куті в плані ріжуча кромка поступово входить у роботу і виходить із неї. Це зменшує радіальну складову сили різання та захищає ріжучу кромку від можливих поломок. З іншого боку, несприятливим фактором є збільшення осьової складової сили різання, що викликає погіршення жорсткості поверхні тонкостінних деталей.

При куті в плані 90° сила різання спрямована радіально відповідно до напрямку подачі [2]. Основна сфера застосування таких фрез - обробка прямокутних виступів.

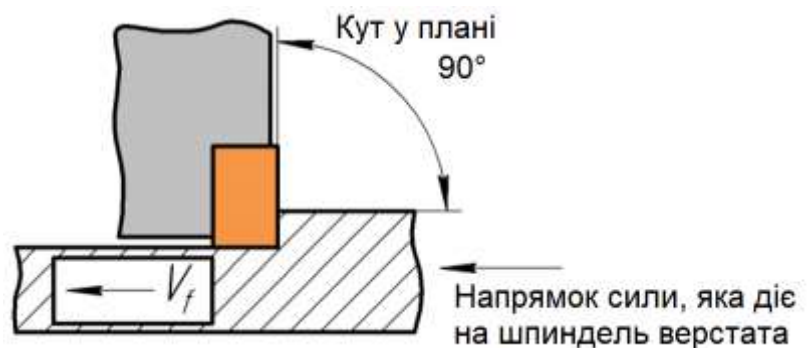


Рисунок 3.6 - Кут у плані 90°

При роботі фрезою з кутом у плані 45° осьові та радіальні сили різання практично однакові і споживана потужність невисока. Ці фрези універсального застосування. Особливо вони рекомендуються для обробки матеріалів, які дають елементну стружку та схильних до вифарбовування. Під час врізання інструменту менше навантаження на ріжучу кромку та менше схильність до вібрацій при закріпленні у пристосуваннях із невеликими зусиллями затиску. Менша товщина зрізаного шару при куті в плані 45° дозволяє збільшувати хвилинну подачу столу, що дає підвищити продуктивність обробки.

Фрези з кутом у плані 10° рекомендуються для поздовжнього фрезерування з великими подачами та плунжерного фрезерування, коли характерні невеликі товщини стружки та високі швидкісні параметри [12]. Перевагою обробки такими

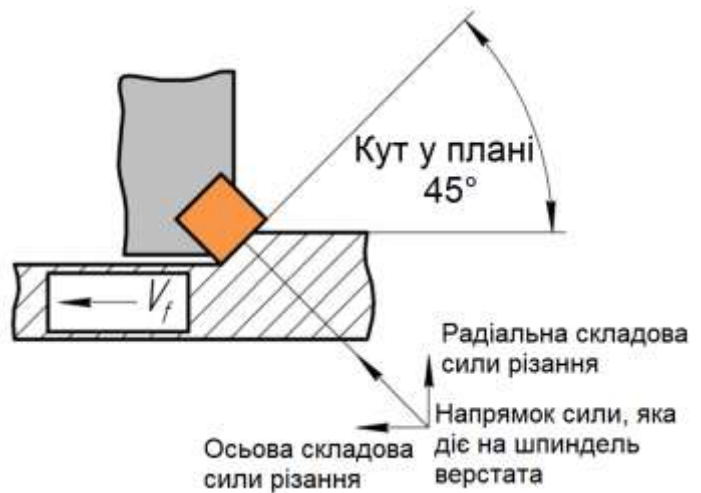


Рисунок 3.7 - Кут у плані 45°

фрезами є низькі радіальні зусилля різання. А також перевищення осьової складової сили різання як при радіальному, так і при осьовому напрямі подачі, що зменшує схильність до вібрацій та надає великі можливості збільшення швидкості зняття матеріалу.

У фрез з круглими пластинами головний кут у плані змінюється від 0 до 90° в залежності від глибини різання. Ці фрези мають дуже міцну ріжучу кромку і можуть працювати при великих подачах, оскільки утворюють досить тонку



Рисунок 3.8 - Фрези із круглими пластинами

стружку на великій довжині ріжучої кромки. Фрези з круглими пластинами рекомендується застосовувати для обробки важкообробних матеріалів, таких як титан та жароміцні сплави. Напрямок сил різання змінюється вздовж радіуса пластини, тому напрям сумарного навантаження залежить від глибини різання. Сучасна геометрія круглих пластин робить їх більш універсальними, забезпечуючи стабільність процесу різання, меншу споживану потужність та, відповідно, менші вимоги до жорсткості обладнання. В даний час ці фрези широко використовуються для зняття великих об'ємів металу.

3.3. Допоміжний інструмент

Основне завдання допоміжного інструменту – надійна фіксація ріжучого інструменту в шпинделі та передача йому крутного моменту від верстата. У якості допоміжного інструменту на операціях фрезерування використовують патрони та оправки.

Оправки головним чином призначені для операцій з великими зусиллями різання, таких як торцеве фрезерування, фрезерування пазів дисковими фрезами, розточування отворів великого діаметру.

Елементом, який передає крутний момент для оправок, є шпонка, котра запобігає провертанню ріжучого інструменту щодо оправки. Цим забезпечуються надійне закріплення та передача крутного моменту. Однак оправки не здатні забезпечити хороше центрування інструменту, тому основне їх застосування - чернові операції з видаленням основного об'єму матеріалу.

Патрони забезпечують найкраще центрування і зазвичай використовуються для затискання різальних інструментів невеликого розміру. Слід розрізняти патрони з механічним кріпленням ріжучого інструменту (для свердлів, інструментів з конічними хвостовиками типу конусів Морзе, Whistle Notch, Weldon тощо) та патрони з пружно-деформованою затискною частиною (цангові, гідромеханічні, гідропластові та ін.) [26].

Особливу увагу слід приділити цанговим патронам (рис. 2.10), які найбільш часто використовуються при роботі на верстатах з ЧПУ.

Принцип дії такого патрона дуже простий. У конічний отвір патрона вставляються змінні цанги. Цанга має циліндричний отвір, в який встановлюється циліндричний хвостовик ріжучого інструменту (діаметр хвостовика ріжучого інструменту повинен відповідати номеру цанги). При затягуванні гайки тиск передається на торець цанги, що призводить до вдавлювання останньої у конічний



Рисунок 3.9 - Цангові патрони та змінні цанги

отвір патрона та стиску в радіальному напрямку. Стискаючись, цанга передає тиск на циліндричний хвостовик ріжучого інструменту та надійно закріплює його. Після зняття тиску (відкручування гайки) із цанги вона розтискається і дозволяє витягти різальний інструмент з патрона.

Основна перевага цангового патрона - здатність здійснювати закріплення широкого діапазону різальних інструментів за допомогою комплекту змінних цанг. У комплекті цанг до одного і того ж патрона ви, як правило, знайдете цанги для закріплення інструментів із хвостовиками від 6 до 30 мм і більше.

Цанга робить гарне центрування інструменту та надійне закріплення, проте погано збалансована для швидкісних методів обробки. Слід приділяти належну увагу допоміжному інструменту, оскільки від нього залежать: стійкість різального інструменту, стабільність технологічного процесу, точність та якість обробки.

3.4. Основні технологічні параметри процесу фрезерування

Швидкість різання (V , м/хв) – це колова швидкість переміщення ріжучих кромek фрези. Ця величина визначає ефективність обробки і лежить в рекомендованих для кожного інструментального матеріалу межах.

За один оберт фрези точка ріжучої кромки, яка знаходиться на колі фрези діаметром (D , мм), зможе пройти шлях, який дорівнює довжині кола, тобто $\pi \cdot D$. Для того щоб визначити довжину шляху, пройденого точкою за одну хвилину, потрібно помножити довжину шляху за один оберт на частоту обертання фрези, тобто ($\pi \cdot D \cdot n$, мм/хв) [29]. Таким чином, формула для визначення швидкості різання буде мати вигляд:

$$V = \pi \cdot D \cdot n / 1000, \text{ мм/хв} \quad (3.1)$$

Частота обертання шпинделя (n , об/хв) дорівнює числу обертів фрези хвилину. Обчислюється відповідно до рекомендованої для даного типу обробки швидкістю різання:

$$n = 1000 \cdot V / \pi \cdot D, \text{ об/хв} \quad (3.2).$$

При фрезеруванні розрізняють хвилинну подачу, подачу на зуб та подачу на оберт зуба фрези.

Подача на зуб (F_z , мм/зуб) це величина переміщення фрези або робочого стола із заготовкою за час повороту фрези на один зуб.

Подача на оберт (F_o , мм/об) це величина переміщення фрези або робочого стола із заготовкою за один оберт фрези. Подача на оберт дорівнює добутку подачі на зуб на число зубів фрези Z [25]:

$$F_o = F_z \cdot Z, \text{ мм/об} \quad (3.3).$$

Хвилинною подачею (F_m , мм/хв) називається величина відносного переміщення фрези або робочого столу із заготовкою за одну хвилину. Хвилинна подача дорівнює добутку подачі на оберт на частоту обертання фрези:

$$F_m = F_o \cdot n = F_z \cdot Z \cdot n, \text{ мм/хв} \quad (3.4).$$

Глибиною фрезерування (h , мм) називається відстань між обробленою та необробленою поверхнями, яка вимірюється вздовж осі фрези.

Шириною фрезерування (b , мм) називається величина припуску, який зрізається, виміряна в радіальному напрямку, або ширина контакту заготовки та інструменту.

Продуктивність зняття матеріалу (Q , см^3) - це об'єм видаленого матеріалу за одиницю часу, який визначається глибиною, шириною обробки і величиною подачі [25].

$$Q = (h \cdot b \cdot F_m) / 1000, \text{см}^3 \quad (3.5).$$

3.5. Рекомендації до виконання процесу фрезерування

Вибір діаметра фрези залежить, як правило, від ширини оброблюваної заготовки, а також від потужних характеристик верстата. При цьому важливим фактором, який визначає успішне виконання операції фрезерування, є взаємне розташування оброблюваної поверхні та фрези.

Ширина фрезерування особливо сильно впливає на вибір діаметра фрези при обробці торцевими фрезами. У цьому випадку рекомендується вибирати діаметр фрези, який перевищує ширину фрезерування на 20...50 %.

Якщо обробка може бути виконана за кілька проходів, то ширина різання за кожен прохід має дорівнювати $3/4$ діаметра фрези. При цьому формування стружки та навантаження на ріжучу кромку будуть оптимальними.

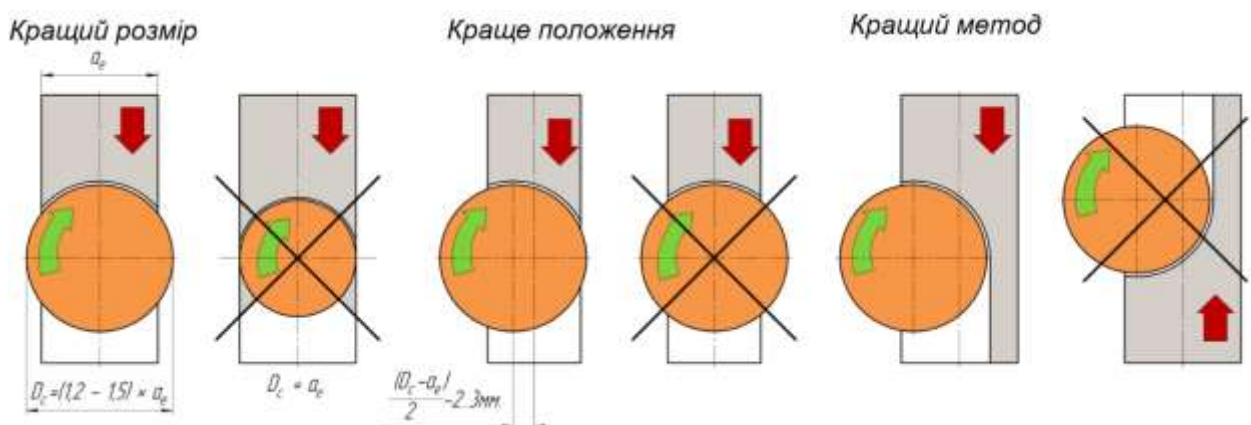


Рисунок 3.10 - Варіанти розташування фрези щодо заготовки

Коли діаметр фрези значно перевищує ширину заготовки, вісь фрези слід змістити з осі симетрії заготовки. Звичайно, близьке розташування осі фрези до осі заготовки дозволяє забезпечити найкоротший шлях зубів фрези у металі, надійне формування стружки на вході та сприятливу ситуацію щодо ударних навантажень на пластину [25]. Але коли вісь фрези розташована точно по осі симетрії заготовки, циклічна зміна сили різання при врізанні і виході може призвести до виникнення вібрацій, які призведуть до пошкодження пластини та поганої шорсткості поверхні.

При торцевому фрезеруванні по можливості слід уникати фрезерування площин з перетином пазів і отворів, так як при цьому ріжучі кромки будуть працювати у незадовільних умовах уривчастого різання. Виконуйте операцію виготовлення отворів після фрезерування. Якщо такий варіант неможливий, то при перетині отвору фрезою треба знижувати величину подачі на 50 % від рекомендованої.

При обробці великих площин намагайтеся не переривати контакт фрези із заготовкою, обходячи поверхню по периметру, а не за кілька паралельних проходів [19]. Обробку кутів необхідно здійснювати за радіусом, що перевищує радіус фрези, щоб виключити можливість виникнення вібрацій, пов'язаних з різким збільшенням кута охоплення фрези.

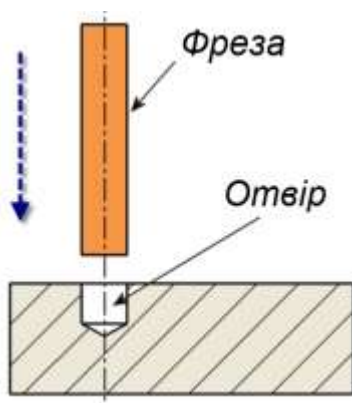


Рисунок 3.11 - Для вертикального входу інструмента бажано заздалегідь просвердлити отвір на глибину подальшого фрезерування

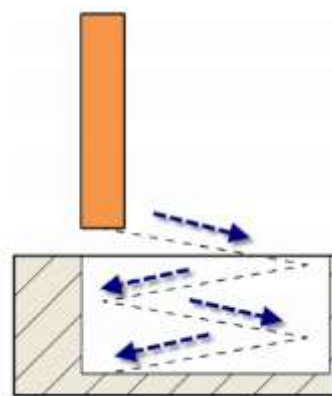


Рисунок 3.12 - Маятникове врізання (фрезерування)

При обробці закритого паза (замкнутої області) основна проблема полягає в складності початкового входу інструменту в матеріал заготовки, оскільки більшість кінцевих фрез погано працюють на засвердлювання. Існує кілька способів вирішення цієї проблеми. Найпростіший вихід із ситуації – попередньо просвердлити технологічний отвір і потім спокійно опустити у нього фрезу. Цікавіші способи – маятникове та спіральне врізання. У цьому випадку відпадає необхідність попереднього свердління, ріжучий інструмент входить в матеріал заготовки плавно.

Особливо обережно потрібно бути при обробці тонкостінних кишень. Бажано, щоб матеріал вибирався поступово і обов'язково при попутному способі фрезерування. В іншому випадку з'являється вірогідність «підриву» тонкої стінки.

Обробляючи внутрішні радіуси треба намагатися, щоб радіус фрези був трохи меншим, ніж радіус у кутку кишені (контуру). Справа в тому, що в момент, коли фреза входить у кут, ширина фрезерування зростає стрибкоподібно, що може призвести до «підхоплення» інструменту і, як наслідок, підрізання оброблюваного контуру, або зламу фрези. При призначенні діаметра фрези для чорнової обробки внутрішніх радіусів бажано, щоб припуск, який залишається в кутах, не перевищував $0,20D$, де D – діаметр наступної чистової фрези.

При обробці глибоких контурів і виступів необхідно забезпечити достатню жорсткість інструменту щоб уникнути його віджиму та виключення «конусності» обробленої поверхні. Бажано, щоб діаметр інструменту D задовольняв умову $H < 2,5D$, де H – максимальна висота стінки оброблюваної деталі [5].



Рисунок 3.13 - Траєкторія спірального врізання з виходом у площину обробки

Часто фрезерування виконується у два етапи: чорновий – контур обробляється пошарово з невеликим припуском, чистовий - припуск, що залишився, видаляється за один прохід фрези на фінальній глибині.

При виконанні чорнового та особливо чистового фрезерування інструмент слід підводити до оброблюваної поверхні по дотичній або по прямій лінії під гострим кутом. Дотримуючись цього правила, необхідно і відводити інструмент. Справа в тому, що при початковому врзанні в матеріал заготовки фреза піддається різкому навантаженню, що може призвести до її поломки або до того, що на поверхні деталі в місці входу фрези в матеріал залишиться слід або нерівність. Якщо врзання буде плавним, то навантаження на інструмент буде наростати поступово і поверхня залишиться чистою.

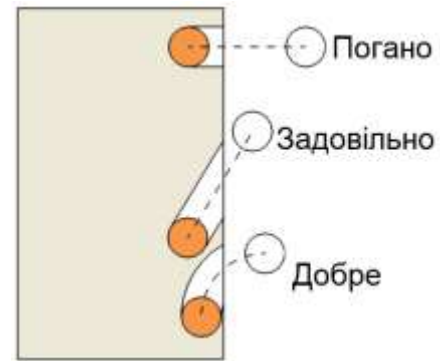


Рисунок 3.14 - Найпростіші способи підведення інструменту

Висновки за розділом

В умовах сучасного виробництва підбір інструменту дуже часто виконують за каталогами. Це зумовлено їх широкою гамою та різновидами. Виробники інструментів розробляють все нові і нові класифікації інструментів та підвищують їх ефективність. Всю необхідну користувачу інформацію вони висвітлюють в каталогах, використання яких під час вибору інструменту суттєво знижує затрати праці на налаштування верстатів та перевірку їх роботи.

4. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ІНСТРУМЕНТІВ І РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ДЛЯ ОБРОБНОГО ЦЕНТРУ ЗА КАТАЛОГАМИ ФІРМИ SANDVIK

4.1. Методи підвищення продуктивності при обробці металів різанням

Фірмою SANDVIK розроблені та широко використовуються довідники-каталоги, які дозволяють швидко і просто вибрати найкраще поєднання геометрії ріжучих кромek і марку інструментального матеріалу для конкретних технологічних операцій. Рекомендовані в каталогах режими обробки завжди забезпечують вирішення задачі з умовою підвищення продуктивності праці [15].

Основними користувачами каталогів SANDVIK є інженери-технологи та оператори верстатів, яким необхідно підібрати оптимальний інструмент і вибрати відповідні режими обробки за максимально короткий термін.

Під продуктивністю металообробки розуміється співвідношення між виходом готової продукції та вхідними витратами на виробництво.

На початку розробки технологічного процесу витрачаються певні ресурси, необхідні для організації виробництва, такі як: робоча сила, обладнання, оснащення, сировина, інструментальні запаси, адміністративні витрати.

За оптимальної організації праці вихідним результатом є продукція, яку вдається виготовити в рамках наявного фонду робочого дня.

На рис. 4.1 показано основні витрати виробництва. Дуже складно виділити який-небудь один параметр з виробничого ланцюга, який максимально впливав би на величину цих витрат. Правильний вибір та застосування сучасних металорізальних інструментів на підвищених режимах різання є вирішальним фактором зниження виробничих витрат.

На перший погляд здається, що скорочення витрат на інструмент безпосередньо впливає на собівартість продукції. Однак, це не так. Навіть значне зниження витрат на інструмент та збільшення його стійкості

призводять до зниження собівартості приблизно на 1%. Підвищення продуктивності обробки дає набагато більший ефект: збільшення швидкості різання або подачі на 20 % знижує собівартість продукції на 15 % [14, 15].

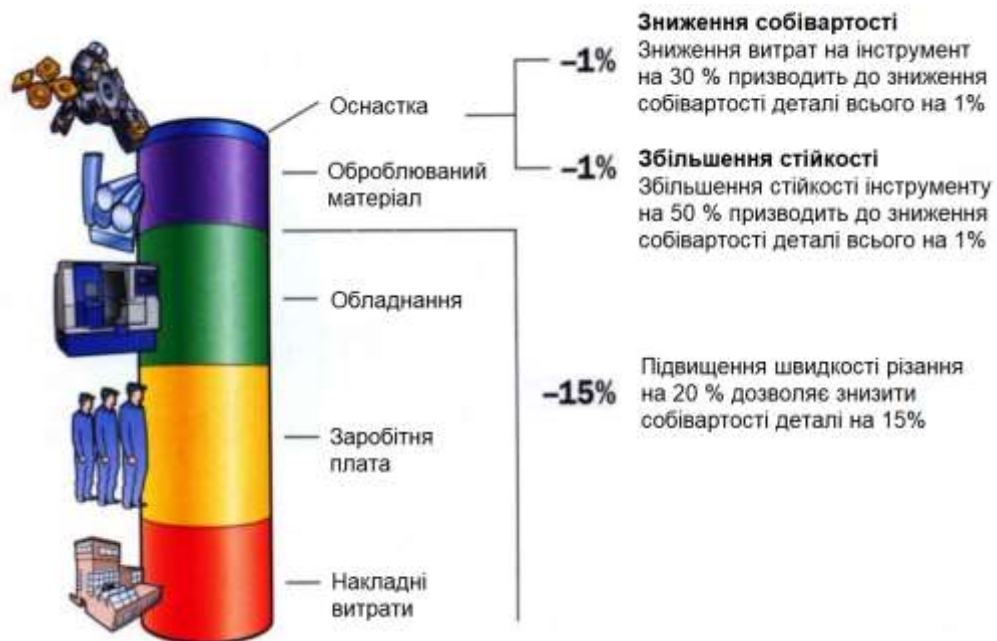


Рисунок 4.1 - Основні витрати та зниження собівартості

Фактори, які суттєво впливають на продуктивність обробки [1, 5, 12, 19]:

- підвищення швидкості різання та подачі = більша кількість деталей на годину;
- прогнозована стійкість інструменту = вища надійність обробітки = менше браку = вища якість = вища цінність кінцевого продукту;
- скорочення часу зміни інструменту = зниження простоїв;
- розширення можливостей інструменту = скорочення номенклатури;
- технічне навчання персоналу = підвищення професійного рівня та відповідно скорочення браку

4.2. Послідовність вибору інструментів і режимів різання

4.2.1. Вплив оброблюваного матеріалу на вибір інструменту

Марка оброблюваного матеріалу визначає вибір змінних багатогранних пластин (ЗБП).

Оброблювані матеріали відповідно до стандарту ISO поділяються на 6 груп та підгрупи. Розглянемо та проаналізуємо їх.

Багато фірм, які виробляють ріжучі інструменти, вводять свої групи з оброблюваності. Фірма SANDVIK також пропонує свою класифікацію по оброблюваним матеріалам. Приклад такої класифікації показано на рис. 4.2.

ISO P	Сталь Типовий представник: низьковуглецева сталь CMC 09.2/HB 180	ISO N	Алюмінієві сплави Типовий представник: відливки, які не піддавались старінню CMC 30.21/HB 75
ISO M	Нержавіюча сталь Типовий представник: аустенітна нержавіюча сталь CMC 05.21/HB 180	ISO S	Жароміцні сплави Типовий представник: нікелеві сплави CMC 20.22/HB 350
ISO K	Чавун Типовий представник: сірий чавун CMC 08.2/HB 220; чавун з кулевим графітом CMC 09.2/HB 250	ISO H	Надміцна сталь Типовий представник: гартована і відпущена сталь CMC 04.11/HRC 60

Рисунок 4.2 - Класифікація оброблюваних матеріалів за ISO та класифікатором фірми SANDVIK Coromant (CMC)

В каталогах SANDVIK ріжучі інструменти поділено на класифікаційні розділи, які мають таке ж маркування по кольорах, які і матеріали, які до них належать.

4.2.2. Вибір виду та визначення умов обробки за каталогами

Вид обробки є визначальним показником під час вибору оптимальної геометрії ріжучих пластин для високопродуктивного технологічного інструменту. На вибір виду обробки суттєвий вплив має глибина різання.

Характеристика видів обробки, в залежності від глибини різання наведена на рис. 4.3 [15].

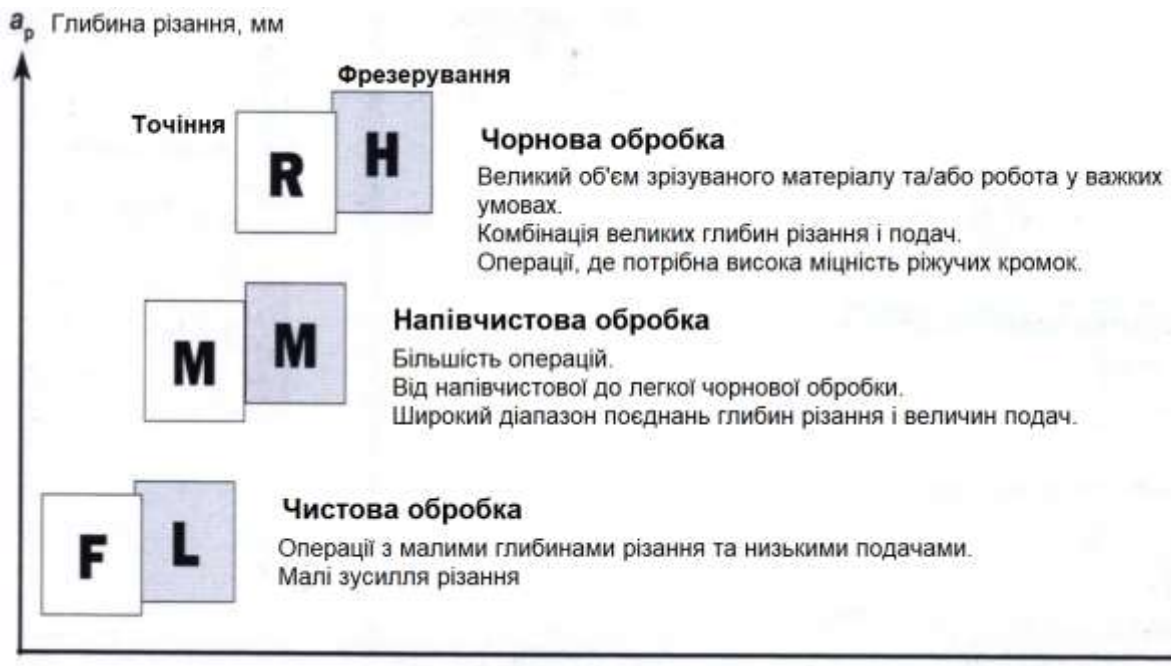


Рисунок 4.3 - Види обробки (точіння/фрезерування)

Умови обробки визначають можливі впливи, які будуть діяти на ріжучий інструмент в залежності від виду оброблюваного матеріалу, типу і якості заготовки, її способу кріплення тощо. Умови обробки суттєво впливають на майбутній вибір марки твердого сплаву, з якого виготовляється ріжучий інструмент. На рис. 4 показано спосіб позначення умов обробки в каталогах SANDVIK.



Рисунок 4.4 - Умови обробки

4.3. Визначення та корегування режимів обробки за каталогом

Початкові значення для швидкостей різання та подач (рис. 4.5), а також можливий діапазон їх зміни вказуються на упаковках з пластинами до ріжучого інструменту. Цю ж інформацію автори відображають в каталогах відповідного інструменту. Це дозволяє технологу або оператору верстата точно комплектувати інструмент та швидко приступати до виконання обробки заготовки.

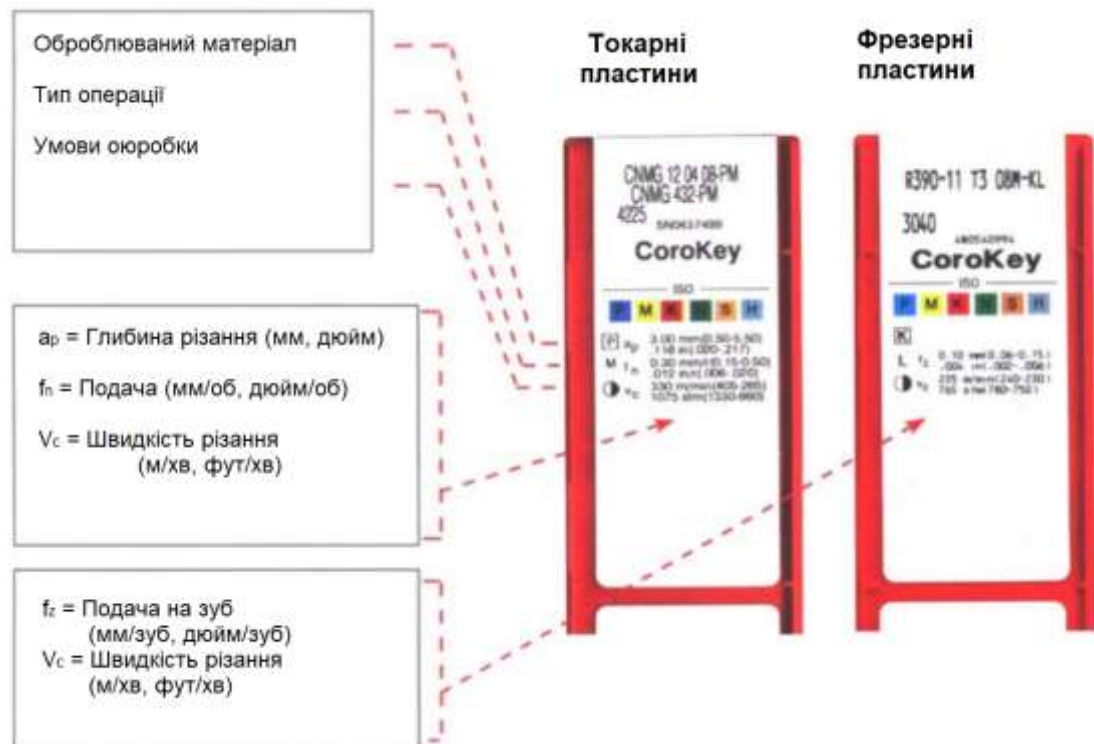


Рисунок 4.5 - Початкові значення для швидкостей різання та подач

Однак досить часто їх приходиться коригувати. Так, наприклад, якщо виникає необхідність у коректуванні режимів різання для матеріалів різної твердості, то в даному каталозі рекомендації щодо режимів обробки подано для марок твердих сплавів і вони враховуються під час початкового вибору для оброблюваних матеріалів із зазначеною в таблиці твердістю [30]. Розрахунок швидкості різання для матеріалів, які відрізняються за твердістю, проводять множенням табличних значень на коефіцієнти, які вибирають відповідно до спеціальної таблиці, наведеної нижче на рис.4.6.

ISO/ ANSI	CMC ¹⁾	HB ²⁾	Зменшення твердості				Збільшення твердості				
			-60 ³⁾	-40	-20	0	+20	+40	+60	+80	+100
P	02.1	HB ²⁾ 180	1,44	1,25	1,11	1,0	0,91	0,84	0,77	0,72	0,67
M	05.21	HB ²⁾ 180	1,42	1,24	1,11	1,0	0,91	0,84	0,78	0,73	0,68
K	08.2	HB ²⁾ 220	1,21	1,13	1,06	1,0	0,95	0,90	0,86	0,82	0,79
	09.2	HB ²⁾ 250	1,33	1,21	1,09	1,0	0,91	0,84	0,75	0,70	0,65
N	30.21	HB ²⁾ 75			1,05	1,0	0,95				
S	20.22	HB ²⁾ 350			1,12	1,0	0,89				
H	04.1	HRC ³⁾ 60			1,07	1,0	0,97				

¹⁾ Код оброблюваного матеріалу за класифікацією Sndvik Coromant

²⁾ Твердість за Брінелем

³⁾ Твердість за Роквелом

Рисунок 4.6 – Таблиця коефіцієнтів для корекції швидкості різання

Наприклад, якщо була вибрана пластина CNMG 120416-PM, то каталог як базовий варіант (перший вибір) рекомендує марку твердого сплаву GC4225, для якої при обробці низьколегованої сталі (за класифікацією SANDVIK Coromant CMC код 02.1, по ДСТУ сталь 40X) з твердістю HB 180 пропонуються наступні режими різання: глибина різання $a_p = 3$ мм; подача $f_n = 0,4$ мм/об; швидкості різання $V_c = 305$ м/хв.

Якщо обраний оброблюваний матеріал має іншу твердість, наприклад HB 240, то різниця твердості дорівнює +60. Відповідний коефіцієнт за таблицею корекції буде дорівнювати 0,77 (див. рис. 4.6). Тоді, швидкість різання, відкоригована для матеріалу з твердістю HB 240, становитиме:

$$305 \cdot 0,77 = 234,85 = 235 \text{ м/хв.}$$

При необхідності збільшити об'єм матеріалу, що знімається ріжучою кромкою інструмента, або змінити стійкість обраного інструменту рекомендується перерахувати швидкість різання виходячи з коефіцієнтів, наведених у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Коефіцієнти, які враховуються при зміні стійкості інструменту

Стійкість інструменту, хв	10	15	20	25	30	45	60
Коефіцієнт корекції	1,11	1,0	0,93	0,88	0,84	0,75	0,7

Наприклад, якщо рекомендована швидкість різання дорівнює $V_c = 225$ м/хв при стійкості 15 хв, то при стійкості 20 хв швидкість різання складе:

$$225 \cdot 0,93 = 209 \text{ м/хв.}$$

При збільшенні подачі швидкість різання має бути зменшена (і навпаки), як це показано у рекомендаціях щодо вибору режимів різання (рис. 4.7).

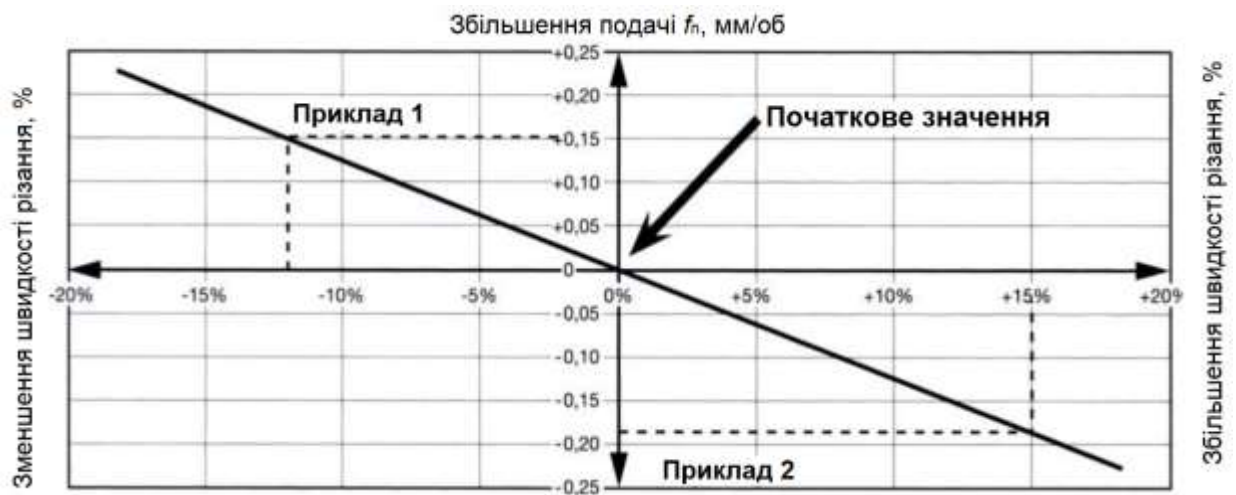


Рисунок 4.7 – Діаграма коригування швидкості різання при зміні подачі

На діаграмі показано простий спосіб коригування рекомендованих початкових значень швидкості різання та подачі. Якщо процес обробки відбувається на режимах, зазначених на упаковці, і стійкість інструменту складає 15 хв, то вона залишається такою ж при значеннях, прийнятих за цією діаграмою.

При збільшенні подачі на 0,15 мм/об (+0,15) швидкості різання, згідно з діаграмою, має зменшитись на 12%.

Якщо ж швидкість різання збільшиться на 15%, то подача має зменшитися на 0,18 мм/об.

4.4. Аналіз маркування пластин та вибір оптимізованого варіанту

Кожна пластина для ріжучого інструмента має чітке маркування геометрії, вказану марку сплаву, радіус при вершині та нумерацію ріжучої кромки (рис 4.8).

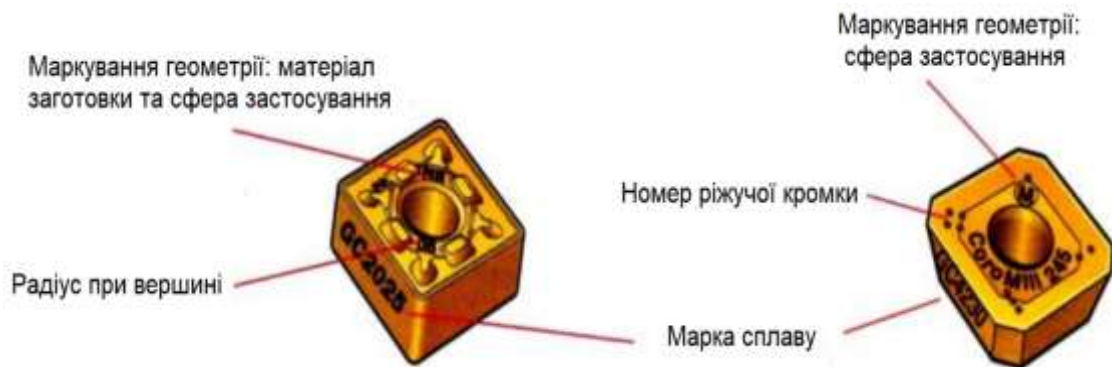


Рисунок 4.8 – Приклади маркування ріжучих пластин

В каталогах SANDVIK для вибору пропонуються оптимальні варіанти вибору пластин до ріжучого інструменту. Ці варіанти ще називають «Перший вибір». На рис. 4.9 показано приклад першого вибору пластин для механічної обробки різанням [15, 30].

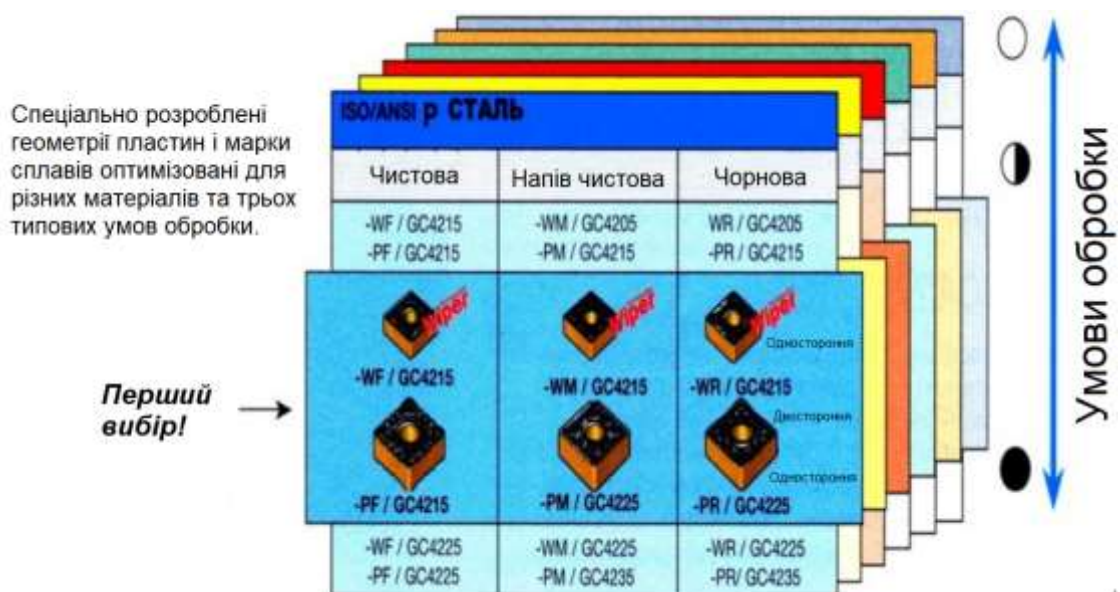


Рисунок 4.9. Оптимізовані пластини в каталогах SANDVIK

У верхній частині рисунка по кольорах вказані види оброблюваних матеріалів. Розробниками пропонується різні геометрії пластин та марки сплавів (позначено кольорами в низу рисунка), оптимізовані для вказаних матеріалів та трьох типових умов обробки заготовок.

Марки ріжучих пластин, розташовані у верхній частині таблиці (WF, WM та WR) є рекомендованими і пропонуються для хороших та нормальних умов обробки.

Марки ріжучих пластин, розташовані нижче (RF, RM та PR) відносяться до другорядного вибору і є рекомендованими для важких умов обробки. На них слід звертати увагу при виникненні таких умов.

4.5. Особливості вибору інструментів за каталогами SANDVIK для обробки зовнішніх і внутрішніх поверхонь способом точіння

Під час вибору інструменту для виконання операцій токарної обробки зовнішніх та внутрішніх поверхонь заготовок необхідно дотримуватися наступних рекомендацій [18]:

- Розгляньте можливі варіанти інструментального забезпечення. Виберіть державку залежно від типу її закріплення в револьверній головці;
- Визначте тип операції та систему закріплення пластин: повздовжнє точіння, контурна обробка, підрізування торця, прорізування пазів;
- Виберіть ріжучу пластину без задніх кутів або із задніми кутами;
- Підберіть ріжучі пластини (форма, розмір, геометрія, сфера застосування, марка сплаву);
- Виберіть режими різання. Початкові значення швидкості різання та подачі при обробці різних матеріалів зазначені на упаковці пластин.

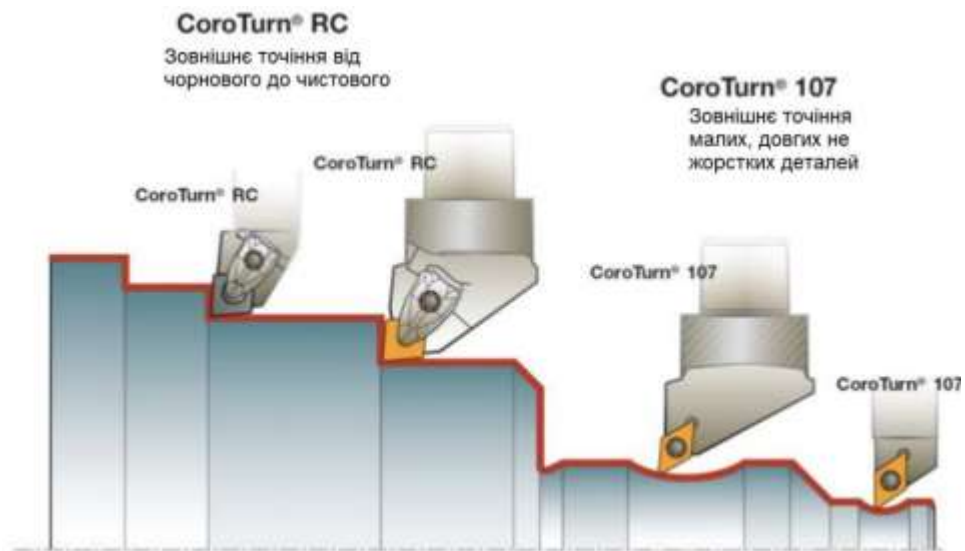


Рисунок 4.10 - Обробка зовнішніх поверхонь

Є також інші важливі моменти, які слід враховувати при виборі інструменту. По можливості слід вибирати головний кут у плані меншим за 90 градусів. Це дозволяє знизити ударні навантаження на лезо.

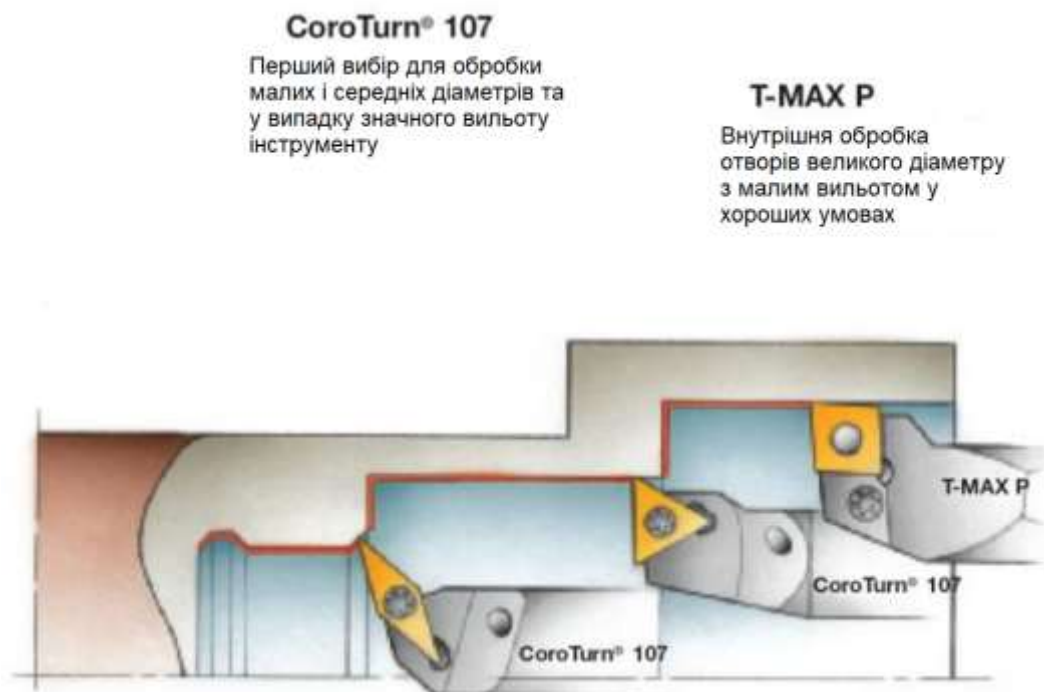


Рисунок 4.11 - Обробка внутрішніх поверхонь

Для обробки внутрішніх поверхонь по можливості слід вибирати інструмент, в якого головний кут у плані є близьким до 90 градусів. Це також дасть змогу знизити ударні навантаження на лезо. Також рекомендується вибирати оправку максимального діаметра та з мінімальним вильотом для забезпечення вищої жорсткості інструменту.



Рисунок 4.12 - Зачисні пластини Wiper

Використання інструменту із зачисним пластинам дає можливість підвищення продуктивності процесу. Зачисні пластини Wiper - це інноваційні високопродуктивні пластини для напівчистої та чистої обробки. В них, завдяки незначній зміні радіуса при вершині пластини досягається можливість збільшення подачі вдвічі при незмінній чистоті обробки (рис. 4.12).

4.6. Практичні рекомендації щодо усунення проблем, які можуть виникати під час точіння

Якщо при точінні виникають проблеми, їх можна усунути, використовуючи рекомендації, наведені нижче у таблиці 4.2. Основні проблеми можуть виникати під дією впливу спрацювання ріжучих кромek пластин, або ж неправильного їх підбору.

Таблиця 4.2 – Рекомендації до усунення проблем під час точіння

Точіння	Основні рекомендації щодо їх усунення									
Проблеми	Зменшити швидкість різання	Збільшити швидкість різання	Зменшити подачу	Збільшити подачу	Зменшити глибину різання	Збільшити глибину різання	Вибрати більш зносостійку марку сплаву	Вибрати більш міцну марку сплаву	Вибрати менший радіус при вершині	Вибрати пластину з позитивною геометрією
Зношування по задній поверхні	X						X			
Утворення проточин	X						X			
Лункоутворення на передній поверхні	X		X				X			X
Пластична деформація	X		X				X			
Наростоутворення		X								X
Утворення невеликих тріщин, перпендикулярних ріжучій кромці								X		
Дрібне викришування ріжучої кромці		X		X				X		
Поломка пластини			X		X			X		
Довга кручена стружка				X		X			X	
Вібрації	X			X	X				X	X

Основними діями для усунення перелічених проблем є зміна технологічних параметрів процесу різання або ж вибрати ріжучі пластини з кращими геометричними та міцнісними характеристиками.

4.7. Особливості вибору інструменту за каталогами Sandvik для фрезерування типових поверхонь

Фрезерування – це процес різання матеріалу обертливим інструментом, в якому обертальний рух є головним, а також має здійснюватись хоча б один рух подачі. Фрезерування є ефективним методом обробки, при якому кожна з різальних кромek фрези знімає однакову кількість матеріалу, обмежену можливостями з формоутворення та видалення стружки.

Основні типи фрезерних переходів і типи інструментів, які для них застосовуються, показані на рис. 4.13.

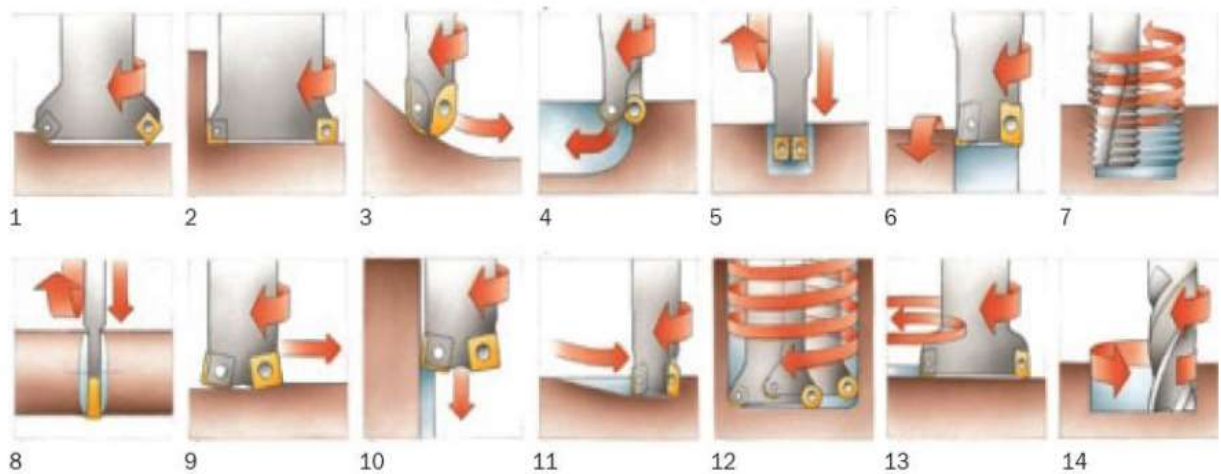


Рисунок 4.13 – Основні типи переходів технологічної операції фрезерування

- 1 – торцеве фрезерування; 2 – фрезерування виступів; 3 – профільне фрезерування; 4 – фрезерування кишень; 5 – фрезерування пазів;
- 6 – фрезерування поверхонь обертання; 7 – різьбофрезерування; 8 – відрізка;
- 9 – фрезерування з великими подачами; 10 – плунжерне фрезерування подачами; 11 – фрезерування з врзанням; 12 – гвинтова інтерполяція;
- 13 – кругова інтерполяція; 14 – трехоїдальне фрезерування

Приклади застосування різного ріжучого інструменту під час формування конструктивних та технологічних елементів виробу наведені на рис. 4.14.



Рисунок 4.14 - Основні види фрезерування та різальний інструмент

При виборі інструменту доцільно користуватися рекомендаціями, наведеними на рис. 13.

Вибір ріжучого інструменту для виконання операцій фрезерної обробки заготовки виконується в кілька етапів (рис. 4.15) [15, 30]:

1. визначення виду оброблюваного матеріалу, типу операції та фрези;
2. вибір конструкції фрези (діаметр фрези, кількість її зубів, спосіб кріплення);
3. підбір геометрії ріжучої пластини для фрези. Для технологічних операцій, які виконуються цільними фрезами вибирають їх марку матеріалу;

4. визначення технологічних параметрів різання з врахуванням умов обробки.

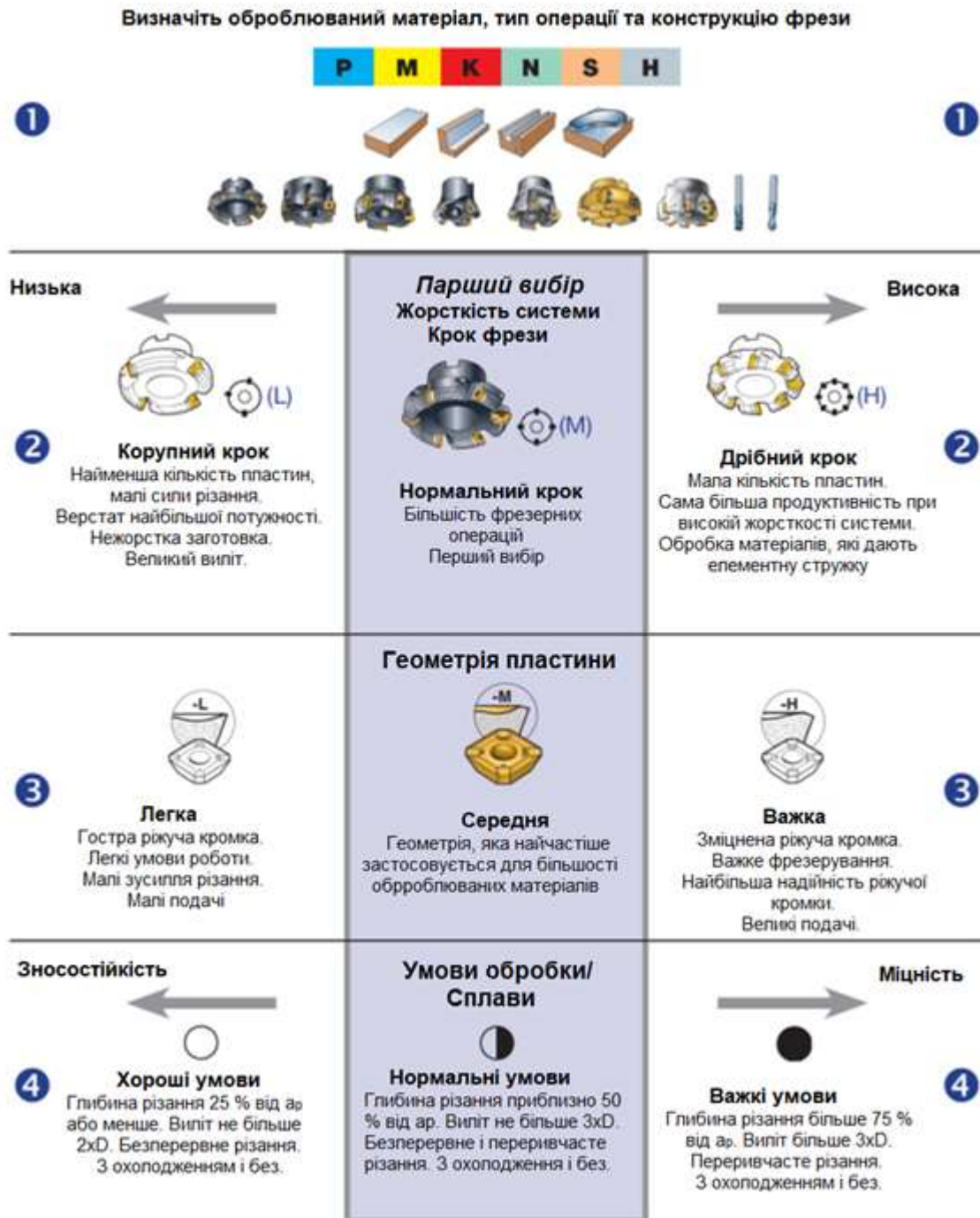


Рисунок 4.15 - Послідовність вибору інструменту для операції фрезерування

Також слід враховувати рекомендації щодо способу та технологічної схеми виконання обробки поверхонь. На рис. 14.16 наведено рекомендації щодо вибору торцевої фрези для технологічної операції фрезерування плоскої поверхні корпусної деталі.

Діаметр фрези та її розташування



Використовуйте по можливості фрезу діаметром більше ширини заготовки



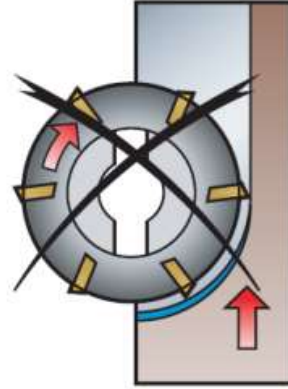
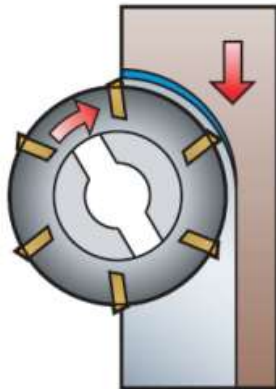
Розташування фрези



Уникайте симетричного розташування фрези, щоб знизити схильність до вібрацій



Напрямок фрезерування



Попутний напрямок фрезерування є кращим

Рисунок 4.16 . Рекомендації щодо вибору розміру торцевої фрези, її розташування та виду фрезерування

Згідно з рекомендаціями каталогів на підбір торцевих фрез попутний напрямок фрезерування має кращі переваги. За таких умов рекомендується використовувати торцеві фрези, діаметр яких є більшим за ширину оброблюваної площини заготовки. При встановленні заготовки на столі обробного центра або фрезерного верстата слід уникати її симетричного розташування відносно осі напрямку руху фрези. Це дасть змогу знизити схильність системи до виникнення вібрацій.

4.8. Практичні рекомендації до усунення проблем, які виникають під час фрезерування

Якщо при фрезеруванні виникають проблеми, то їх можна вирішити, використовуючи рекомендації, наведені нижче в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Рекомендації до усунення проблем під фрезерування

Фрезерування	Основні рекомендації щодо усунення проблем								
Проблеми	Зменшити швидкість різання	Збільшити швидкість різання	Зменшити подачу на зуб	Збільшити подачу на зуб	Вибрати більш зносостійку марку сплаву	Вибрати більш міцну марку сплаву	Використовувати фрезу з меншим числом зубів	Змінити положення фрези	Відмовитися від ЗОЖ
Зношування по задній поверхні	X			X	X				
Утворення проточин	X			X	X				X
Лункоутворення на передній поверхні	X				X				
Пластична деформація	X		X		X				
Наростоутворення		X		X					
Утворення невеликих тріщин, перпендикулярних ріжучій кромці	X					X			X
Дрібне викришування ріжучої кромки		X				X		X	
Поломка пластини			X			X		X	
Погана якість обробленої поверхні		X	X		X				
Вібрації				X			X	X	

4.9. Особливості вибору інструменту за каталогами Sandvik для свердління отвір

Жорсткість системи ВПД значною мірою впливає на роботу свердл. У разі виникнення вібрацій якість свердління та стійкість інструменту значно знижується.

Неспіввісність свердла і деталі, яка обертається в патроні верстата, є причиною його поломок та низької якості свердління. Для иеталообробних верстатів та центрів дане відхилення співвісності не повинно перевищувати 0,02...0,03 мм [26].

Свердла для металообробних верстатів виготовляються цільними з твердосплавних матеріалів або зі змінними твердосплавними пластинами (рис. 4.17).

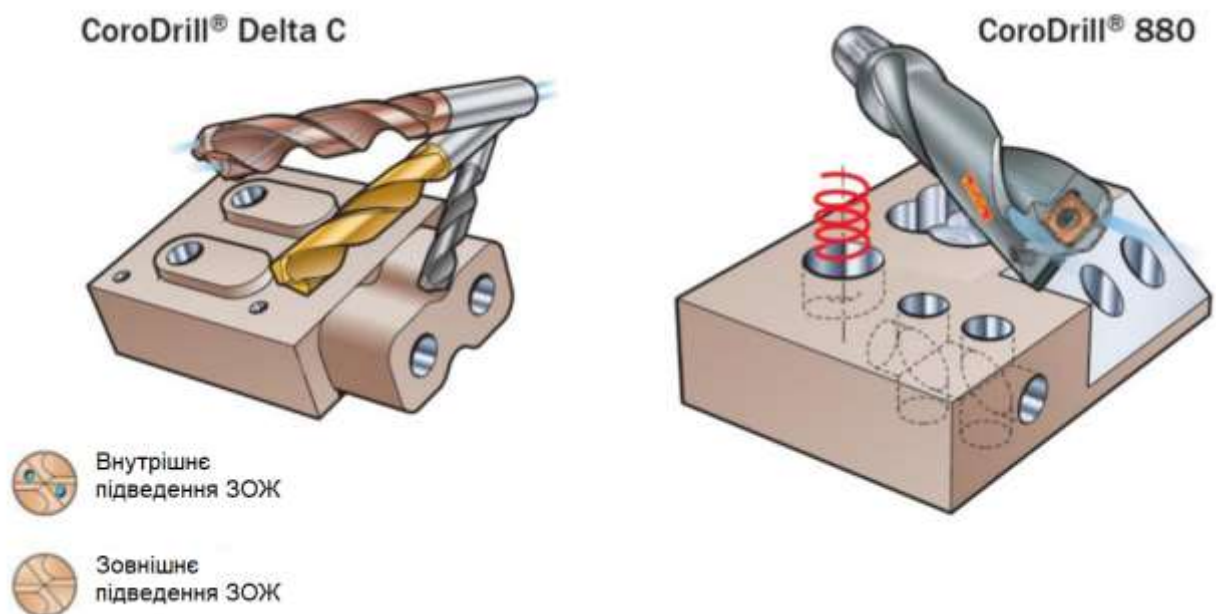


Рисунок 4.17 - Свердла фірми SANDVIK COROMANT

Змащувально-охолоджувальна рідина (ЗОЖ) може подаватися в зону різання потоком зовні свердла чи крізь тіло інструмента. Наведені в каталогах варіанти свердл Delta C виготовляються у двох варіантах: з отворами для підведення ЗОЖ або без них. Усі свердла марки CoroDrill 880 мають можливість подачі ЗОЖ через корпус.

Послідовність вибору свердла для виконання технологічних операцій обробки отворів показана на рис. 4.18-4.19.

Тип свердла вибирається за діаметром отвору, його глибиною та вимогами щодо якості утвореної циліндричної поверхні.

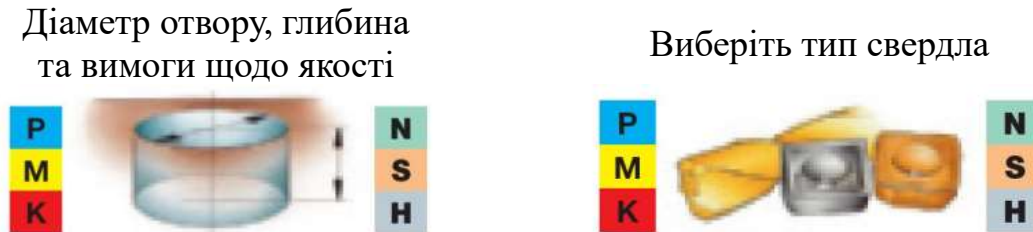


Рисунок 4.18 – Вибір типу свердла за каталогом Sandvik

Свердла Delta C випускаються діаметром від 0,3 до 20 мм. Максимально-допустиму глибину свердління визначають з умови $(2 \dots 7) \cdot D_c$. За таких умов можна досягнути шорсткості обробленої поверхні $Ra\ 1 \dots 2\ \mu\text{m}$, та точності IT 8-10.

Цілісними твердосплавними свердлами Delta C обробляють отвори малих розмірів з високою точністю та якістю. Свердла CoroDrill 880 забезпечують високу продуктивність, універсальність застосування, надійність та передбачуваність, що є особливо важливим в умовах масового виробництва.

Виберіть сплав та геометрію



Для свердлів зі змінними пластинами необхідно вибрати сплав та геометрію пластин, придатні для обробки матеріалу заготовки.

Для цільних свердл потрібно вибрати тільки твердий сплав

Виберіть тип хвостовика



У каталогах пропонуються свердла з різними хвостовиками. Визначіть підходящий тип для заданих умов

Рисунок 4.19– Вибір геометричних параметрів свердла

Свердла CoroDrill 880 випускаються діаметром від 12 до 63 мм. Максимальна глибина свердління складає $(2...5) \cdot D_s$, шорсткість обробленої поверхні - $Ra\ 0,5 \dots 4\ \mu\text{м}$, а точність обробки - IT 8...10 [15].

4.10. Практичні рекомендації до усунення проблем, які виникають під час свердління

Якщо в процесі свердління отворів виникають проблеми, то їх можна усунути, використовуючи рекомендації, наведені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Рекомендації до усунення проблем під час свердління

Свердління	Основні рекомендації щодо усунення проблем								
Проблеми	Заново виставити свердло	Збільшити подачу ЗОЖ, очистити фільтр, прочистити отвори у свердлі	Вибрати більш міцну марку сплаву	Зменшити подачу	Підвищити жорсткість	Виконати регулювання патрона	Перевірити вибір швидкості різання та подачі	Перевірити вибір марки сплаву	Збільшити швидкість різання
Поломка передньої частини свердла	X		X		X		X		
Знос по стрічці свердла	X				X		X	X	
Оброблений отвір більший або менший потрібного діаметра	X			X		X	X		
Стружка спресовується у канавках свердла		X		X	X		X		X
Вібрації				X	X		X		
Дрібні сколи ріжучої кромки	X		X			X		X	X
Зміщення осі отвору				X	X		X		
Низька стійкість інструменту		X			X		X	X	

Основними діями для усунення перелічених проблем є зміна технологічних параметрів процесу різання або ж вибір ріжучого інструменту з кращими геометричними та міцнісними характеристиками.

Висновки за розділом

Розроблена методика підбору інструменту для обробного центру з числовим програмним керування дозволяє швидко віднаходити необхідний інструмент серед усієї номенклатури, визначати особливості його застосування та необхідні межі налаштування технологічних параметрів роботи верстатів, прогнозувати затрати часу та продуктивність виробництва. Крім того каталоги інструментів Sandvik містять рекомендації щодо вирішення типових проблем, які можуть виникати під час виконання технологічних операцій та експлуатації обраного інструменту.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Загальні положення

Інструкція з охорони праці під яас роботи на металообробних верстатах включає вимоги з охорони праці і направлена на забезпечення безпечних умов праці при виконанні робіт на токарному верстаті.

Працівник зобов'язаний [22]:

- дбати про особисту безпеку і здоров'я, а також безпеку і здоров'я оточуючих людей в процесі виконання будь-яких робіт чи під час перебування на території підприємства;

- знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці, правила поведіння з машинами, механізмами, устаткуванням та іншими засобами виробництва, користуватися засобами колективного та індивідуального захисту;

- проходити у встановленому законодавством порядку попередні та періодичні медичні огляди.

Працівник несе безпосередню відповідальність за порушення зазначених вимог.

До роботи на токарному верстаті допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, навчання, освоїли безпечні прийоми виконання робіт, пройшли первинний інструктаж на робочому місці.

Дотримуватися Правил внутрішнього трудового розпорядку, виконувати вимоги правил пожежної безпеки, виконувати тільки доручену роботу.

Забороняється знаходитися і виконувати роботи на території організації і робочому місці в стані алкогольного, токсичного чи наркотичного сп'яніння (отруєння). Палити дозволяється тільки в спеціально встановлених місцях.

Під час роботи на працівника можуть впливати такі небезпечні й шкідливі виробничі чинники:

- Рухомі механізми і частини устаткування;
- Недостатня освітленість робочої зони;
- Можливість ураження електричним струмом;
- Підвищена і знижена температура, вологість повітря;
- Підвищений рівень шуму;
- Падаючі предмети, заготовки, матеріали.

Користуватися справними інструментами, пристосуваннями і тільки за їх прямим призначенням.

Утримувати в чистоті і порядку робоче місце, не захаращувати сторонніми предметами проходи, проїзди, а також підходи до місць розташування первинних засобів пожежогасіння.

Працівник повинен бути забезпечений засобами індивідуального захисту відповідно до діючих норм.

Забороняється розміщувати матеріали і готові вироби в проходах і проїздах, на підлозі поблизу робочого місця.

Відходи слід зберігати в спеціальних ящиках і кожну зміну прибирати.

Обтиральні та змащувальні матеріали повинні зберігатися в металевих ящиках, що щільно закриваються.

Механічні передачі та інші рухомі частини верстата, а також ті частини, що обертаються, повинні мати огорожу. Оброблювальні вироби, що виступають за габарити верстата, повинні бути огорожені стійкими запобіжними пристроями.

Забороняється допускати до управління верстатом сторонніх осіб і залишати без нагляду включений верстат.

Працівник, який використовує при обробці деталей мастильно-охолоджуючі рідини, повинен забезпечуватися профілактичними мазями або рідинами для змащування рук.

Дотримуватися правил особистої гігієни: перед прийомом їжі, в перервах, після закінчення роботи мити руки водою з милом, не використовувати для цих цілей легкозаймисті та горючі рідини (бензин, гас,

ацетон та ін), їжу приймати в обладнаних для цих цілей приміщеннях, спецодяг та особистий одяг зберігати у відведених для цього місцях.

У разі захворювання або отримання навіть незначної травми, припинити роботу, повідомити про це своєму керівнику і звернутися до лікаря.

За невиконання вимог цієї інструкції працівник несе відповідальність згідно чинного законодавства.

Плановий термін перегляду інструкції – 3 роки.

5.2. Математичне моделювання процесу формування і виникнення травмонебезпечної ситуації під час роботи на верстатах

Одним із основних способів моделювання небезпечних ситуацій є метод графічно окресленого логічного моделювання потенційних аварій, травм і катастроф. Цей метод базується на побудові схем, відмов і помилок працівників (операторів) різних систем. В ньому потрібно вести математичну обробку даних, з метою одержання ймовірності виникнення травматичних випадкових подій. Розрахунки спрямовані на зниження нещасних випадків на виробництві [4].

Вивчаючи модель процесів формування та можливого виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій, з якої починається небезпечний процес і до виникнення небезпечних наслідків. Якщо провести дослідження то обов'язково можна знайти подію (явище), що є причиною травмонебезпечних чи аварійних ситуацій.

Розглянемо випадок виробничого травматизму під час токарної обробки отворів кришки підшипників на свердлильному верстаті. У даному випадку може відбутися травма працівника, внаслідок ураження електричним струмом, захоплення робочого одягу рухомими частинами верстата та використання верстата не за призначенням або на недозволених режимах. Головну подію розміщують у верхній частині аркуша паперу і зверху донизу розміщують інші події. У побудованій моделі базові події мають форму круга. Нерозкриті базові

події зображують у вигляді ромба, прямокутник подія, що виникає як результат дії фактора.

Математичну обробку побудованої моделі починають з крайньої лівої гілки, події якої пронумеровані знизу у вгору починаючи з базових подій і закінчуючи головною. Значення подій вказуємо безпосередньо на символи зображення події. Ймовірності виробничих подій визначаємо за даними виробництва. Наприклад, базова подія “охорона праці”. Для визначення ймовірності ми повинні встановити наскільки (%) від ідеального рівня здійснюється відповідний контроль на об’єкт. Якщо буде встановлено, що такий рівень контролю становить 20 або 30%, то ймовірність відповідно становить 0,2 і 0,3. При відсутності контролю ймовірність “не здійснення контролю” становитиме 1, якщо контроль ідеальний, то відповідна ймовірність дорівнює 0. Для виконання математичних обчислень ймовірностей випадкових подій логіко-імітаційної моделі застосовують складені формули відповідно до положень.

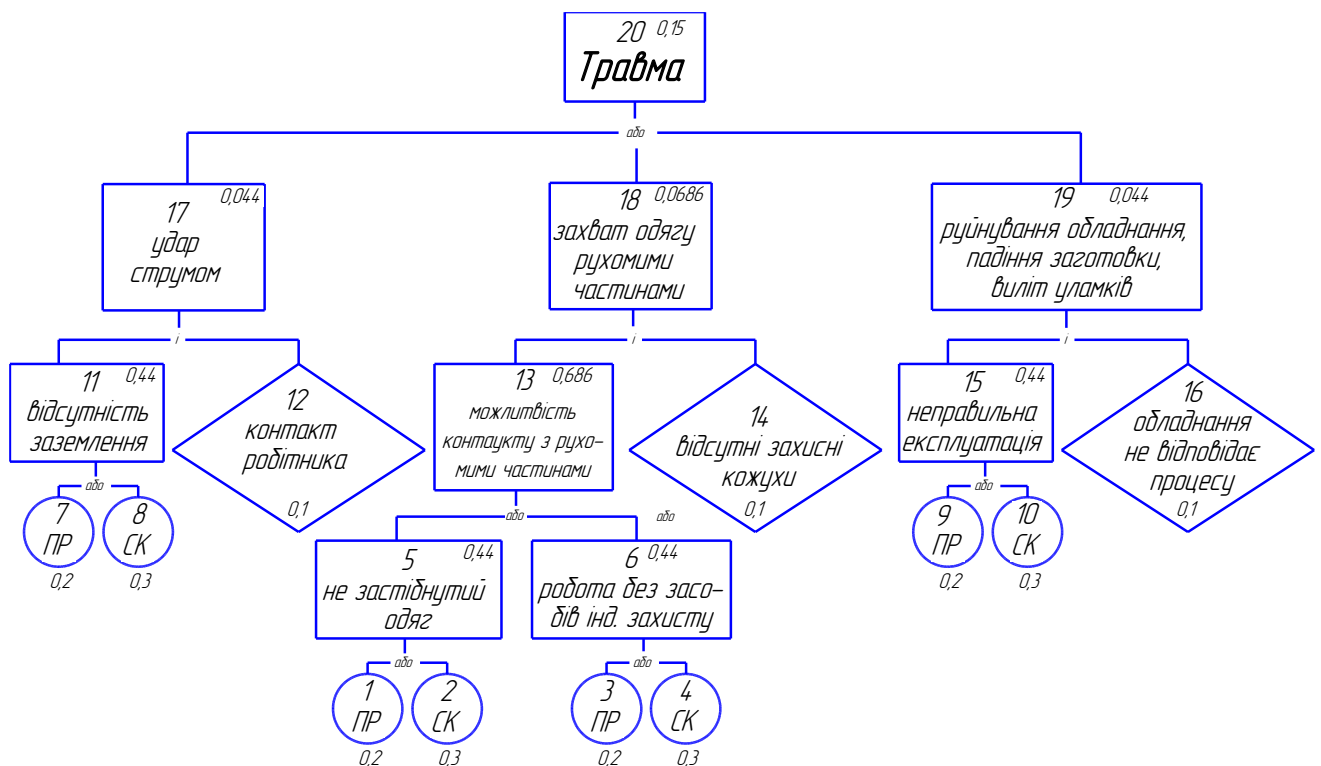


Рисунок 5.1 - Модель процесу формування та виникнення травми

На даній схемі графічно відображено математичну обробку даних на виробництві про нещасні випадки.

Ймовірність події P_5 визначаємо наступним чином

$$P_5 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2 = 0,2 + 0,3 - 0,2 \cdot 0,3 = 0,44 \quad (5.1)$$

Ймовірність подій P_6, P_{11}, P_{15} буде рівною події P_5 , оскільки базові події для них є однаковими.

Ймовірність події P_{13}

$$P_{13} = P_5 + P_6 - P_5 \cdot P_6 = 0,44 + 0,44 - 0,44 \cdot 0,44 = 0,6864 \quad (5.2)$$

Ймовірність події P_{17}

$$P_{17} = P_{11} \cdot P_{18} = 0,44 \cdot 0,1 = 0,044 \quad (5.3)$$

Ймовірності подій P_{19} буду рівною події P_{17} , оскільки події P_5, P_6, P_{11}, P_{15} рівні між собою.

Ймовірність події P_{18}

$$P_{18} = P_{13} \cdot P_{14} = 0,6864 \cdot 0,1 = 0,069 \quad (5.4)$$

Ймовірність події P_{20}

$$\begin{aligned} P_{20} &= P_{17} + P_{18} + P_{19} - P_{17} \cdot P_{18} - P_{17} \cdot P_{19} - P_{18} \cdot P_{19} \\ P_{24} &= 0,044 + 0,069 + 0,044 - 0,044 \cdot 0,069 - \\ &\quad - 0,044 \cdot 0,044 - 0,069 \cdot 0,044 = 0,15 \end{aligned} \quad (5.5)$$

Таким чином, на робочому місті під час обробки отворів кришки підшипників свердлінням за наявності і можливості виникнення існуючих небезпек та небезпечних діях на 100 робочих місць ймовірність виникнення травмонебезпечної ситуації становить 0,15 (15 %).

Такий високий показник пояснюється великою кількістю небезпечних факторів та високими вимогами щодо кваліфікації працівників, якості виконання технологічного процесу та умов безпеки праці.

Висновки за розділом

В даному розділі проаналізовано вимоги нормативно-правових документів щодо охорони праці та виробничої санітарії під час виконання робіт в механічних цехах на металообробних верстатах різанням.

Встановлені основні чинники та причини виникнення травмонебезпечних ситуацій під час роботи на свердлильних верстатах.

Розроблено логічні моделі виникнення окремих травмонебезпечних ситуацій та проведено визначення ймовірності виникнення травмонебезпечної ситуації в конкретних умовах виробництва шляхом математичного моделювання.

В результаті моделювання встановлено, що за наявних небезпечних факторів та недоліків в організації праці ймовірність виникнення травми становить 15 %. Усунення всіх недоліків та підвищення контролю з ОП дозволить мінімізувати виробничий травматизм на підприємстві.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

В сучасних умовах машинобудівного виробництва широко використовуються верстати з числовим програмним управлінням. Вони виконують ті самі функції, що й звичайні верстати з ручним керуванням, але з високою продуктивністю, точністю розмірів та якістю оброблюваних поверхонь. Якісний підбір інструменту дозволяє максимально завантажити верстат, збільшити продуктивність виробництва та зменшити собівартість виробів.

Ріжучий інструмент складається з робочої частини та елементів його кріплення на верстаті або інструментальній оснастці. Для якісного виконання операцій обробки різанням технолог має володіти знаннями про технологічні параметри процесу різання, знати особливості геометрії ріжучої частини інструменту, знати матеріали, з яких його виготовлено та сферу застосування.

В умовах сучасного виробництва підбір інструменту дуже часто виконують за каталогами. Це зумовлено їх широкою гамою та різновидами. Виробники інструментів розробляють все нові і нові класифікації інструментів та підвищують їх ефективність. Всю необхідну користувачу інформацію вони висвітлюють в каталогах, використання яких під час вибору інструменту суттєво знижує затрати праці на налаштування верстатів та перевірку їх роботи.

Розроблена методика підбору інструменту для обробного центру з числовим програмним керування дозволяє швидко віднаходити необхідний інструмент серед усієї номенклатури, визначати особливості його застосування та необхідні межі налаштування технологічних параметрів роботи верстатів, прогнозувати затрати часу та продуктивність виробництва. Крім того каталоги інструментів Sandvik містять рекомендації щодо вирішення типових проблем, які можуть виникати під час виконання технологічних операцій та експлуатації обраного інструменту.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бондаренко С.Г. Основи технології машинобудування: Навчальний посібник. Львів: Магнолія 2006, 2007. 500 с.
2. Веселовська Н.Р., Іскович-Лотоцький Р.Д., Ковальова І.М. Теорія різання та інструмент: Навчальний посібник. Вінниця: 2018. 297 с.
3. Внуков Ю.М. Залога В.О. Зношування і стійкість різальних лезових інструментів: Навч. посібник. Суми: Вид-во СумДУ, 2010. 243 с.
4. Городецький І. В, О. Тимочко. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях: методичні рекомендації до виконання розділу у роботах ОКР "Магістр" студентами факультету механіки та енергетики. Львів: Львівський НАУ, 2011. 16 с.
5. Грицай І.Є., Кукляк М.Л. Різання металів. Теорія різання. Навч. посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2005. 132 с.
6. Гуліда Е.М., Ядченко О.О., Ступницький В.В. Гнучкі виробничі системи для механічної обробки. Львів: Світ, 1992. 152.
7. Дерібо, О. В., Лозінський Д. О., Сердюк О. В. Технології для верстатів з числовим програмним керуванням: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс]. Вінниця : ВНТУ, 2023. 116 с.
8. Довідник по металорізальних верстатах та пресовому обладнанні. – Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.metalinstryment.com>
9. Доля В.М. Технологія обробки типових деталей: Конспект лекцій для студентів спеціальності 7.090.202 „Технологія машинобудування” усіх форм навчання. Харків: НТУ „ХПІ”, 2003. 64 с.
10. ДСТУ 2233:2021 Інструменти різальні. Терміни та визначення понять: [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://online.budstandart.com/ua/>

11. ДСТУ ISO 603-16:2019 Абразиви зі зв'язкою. Розміри. Частина 16. Круги відрізні для ручних електроінструментів (ISO 603-16:1999, IDT) : [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://online.budstandart.com/ua/>
12. Зіль В.В., Безрукава В.А. Теорія різання. Лабораторний практикум для студентів напряму підготовки 6.050502 Інженерна механіка. Донецьк: Національний гірничий університет, 2012. 66 с.
13. Каталоги інструментів, ГОСТи та довідкова література: – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ocean.biz.ua/catalog-i-price>
14. Каталог (Ріжучий інструмент). – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.taegutec.com/pages/uk/publications/cutting-tools-catalogs/>
15. Каталоги Sandvik Coromant. – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://polidecktech.com/all-catalogs/catalog-sandvik-coromant/>
16. Ковальов В.А., Гаврушкевич А.Ю., Гаврушкевич Н.В. Інноваційне обладнання автоматизованого виробництва. Конструктивні особливості та основи програмування верстатів з числовим програмним керуванням: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізації «Технології комп'ютерного конструювання верстатів, роботів та машин». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 158с.
17. Когут М.С. Технологія машинобудування. Практикум до виконання курсового проекту для студентів спеціальностей «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання» та «Обладнання переробних і харчових виробництв». Львів: ЛНАУ, 2010. 114 с.
18. Онлайн-каталог LEUCO. – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.leuco.com/UK/UA/products>
19. Основи теорії різання матеріалів: підручник; під заг. ред. М.П. Мазура. – 2-е вид. перероб. і доп. Львів: Новий світ-2000, 2011. 422 с.
20. Паливода Ю. Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки: навчально-методичний посібник. Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.

21. Пентюк Б. М, Іскович-Лотоцький Р.Д., Штурма АЛ. Прогресивні конструкції та використання ротаційних інструментів. Навч. посібник. Вінниця: ВДТУ. 2001. 70 с.
22. Пістун І. П. Охорона праці в галузі машинобудування: навчальний посібник. Суми: Університетська книга, 2011. 557 с.
23. Розробка технологічного процесу виготовлення деталі. Методичні вказівки до виконання курсової роботи (проекту) з дисципліни "Технологія машинобудування" для студентів Механіко-машинобудівного інституту, інженерно-фізичного та поліграфічного факультетів / Укл. С. С. Добрянський , В. К. Фролов, В. А. Ковальов. Київ: Політехніка, 2002. 78с.
24. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. Київ: Вища школа, 1993. 414 с.
25. Сердюк В.С. Основи оброблення матеріалів різанням та інструмент. Навчальний посібник для студентів спеціальності «Технічне обслуговування і ремонт устаткування підприємств машинобудування. Київ: Освіта України, 2006. 186 с.
26. Стискін Г.М., Ревнівцев М.П., Берізко М.М., Інструменти для механічної обробки матеріалів. Львів: Оріяна-Нова, 2002. 240 с.
27. Технологія верстатних робіт: навч.пос. для проф.-техн. навч. закладів / за наук. ред. М. А. Вайнтрауба. Київ, 2015. 199с.
28. Технологія конструкційних матеріалів: Підручник / за ред. Сологуба М.А. – 2-ге вид., перероб. і допов. Київ: Вища школа, 2002. 374 с.
29. Швець О.П. Технологія машинобудування: Методичних рекомендацій до виконання практичних робіт студентами ОС «Магістр» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування. Львів, 2019. 74 с.
30. Швець О.П., Коруняк П.С., Березовецький С.А. Технології машинобудування. Методичні рекомендації до виконання практичної роботи на тему: «Підбір ріжучого інструменту за каталогами» здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності G11 «Машинобудування». Львів, 2025. 16 с.