

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 81 стр., 42 рисунки, 5 таблиць, 46 джерел.

ТОРЦЕВЕ ФРЕЗУВАННЯ, КОНСТРУКЦІЯ, ПОДАЧА, РІЗАЛЬНИЙ
НІЖ, ШВИДКІСТЬ РІЗАННЯ, СХЕМИ РІЗАННЯ, РЕЖИМИ РІЗАННЯ,
КОМБІНОВАНІ СХЕМИ РІЗАННЯ.

Об'єктом дослідження – є чистові торцеві фрези з комбінованими
схемами різання.

Мета роботи: проаналізувати особливості конструкцій торцевих фрез, їх
експлуатацію та працездатність, особливості конструктивних елементів
ступінчастих фрез та їх вплив на процес різання, та якість поверхні. На основі
аналітичного огляду запропонувати удосконалену конструкцію торцевої фрези,
яка працює за комбінованою схемою різання.

В роботі розглянуті основні особливості чистового торцевого
фрезерування плоских поверхонь та інструмент, який при цьому застосовується.
Проведено аналіз процесу обробки плоских поверхонь торцевими фрезами з
комбінованими схемами різання. Проаналізовані конструкції чистових
косокутних торцевих фрез з комбінованими схемами різання. Запропонована
оптимальна конструкція чистової косокутної торцевої фрези з комбінованою
схемою різання. Визначено вплив мікрогеометрії обробленої поверхні на
експлуатаційні властивості деталей машин. Отримані регресійні залежності
величини шорсткості від зміщення фрези. Побудовані графіки залежностей
шорсткості від зміщення.

ABSTRACT

Explanatory note to the master's project: 81 pages, 42 pictures, 5 tables, 46 sources.

END MILLING, DESIGN, FEED, CUTTING KNIFE, CUTTING SPEED, CUTTING SCHEMES, CUTTING MODES, COMBINED CUTTING SCHEMES.

The object of research is finishing end mills with combined cutting patterns.

The goal of the work: to analyze the features of the designs of end mills, their operation and efficiency, the features of the structural elements of step mills and their influence on the cutting process, and the quality of the surface. On the basis of an analytical review, propose an improved design of an end mill that works according to the combined cutting scheme.

The paper examines the main features of finishing face milling of flat surfaces and the tool used in this process. An analysis of the process of processing flat surfaces with end mills with combined cutting schemes was carried out. Analyzed designs of finishing oblique end mills with combined cutting patterns. The optimal design of a finishing oblique end mill with a combined cutting scheme is proposed. Defined in the influence of the micro geometry of the machined surface on the operational properties of machine parts. The obtained regression dependences of the roughness value on the displacement of the milling cutter. Graphs of dependences of roughness on displacement are constructed.

ЗМІСТ

	С.
Реферат.....	4
Вступ.....	8
1 Торцеве фрезерування у машинобудуванні.....	10
1.1 Види фрез. Методи фрезерування.....	12
2 Особливості чистового торцевого фрезерування плоских поверхонь та інструмент для їх обробки.....	21
2.1 Процес формоутворення плоских поверхонь при чистовому торцевому фрезеруванні.....	21
2.1.1. Схеми фрезерування.....	22
2.1.2 Геометрія різальних ножів чистових торцевих фрез.....	24
2.1.3 Режими обробки і елементи зрізуваного шару при торцевому фрезеруванні.....	26
2.2 Аналіз конструкцій чистових косокутних торцевих фрез з комбінованими схемами різання	28
2.3 Вибір раціональної схеми розташування різальних ножів чистових косокутних торцевих фрез.....	45
2.4 Шорсткість поверхонь оброблених чистовими торцевими фрезами.....	46
2.5 Вплив геометрії різальних ножів торцевих фрез на шорсткість обробки.....	47
2.6 Вплив мікрогеометрії обробленої поверхні на експлуатаційні властивості деталей машин.....	51
3 Аналіз процесу обробки плоских поверхонь торцевими фрезами з комбінованими схемами різання.....	54
3.1 Комбінована схема різання з регулюванням положення профілюючого різального ножа.....	54
3.2 Аналіз силових факторів фрезерування торцевими фрезами з комбінованою схемою різання.....	58
3.2.1 Визначення коефіцієнтів нерівномірності фрезерування.....	62
3.2.2 Визначення впливу режиму різання на рівномірність фрезерування.....	63

3.3	Розрахункова шорсткість обробки торцевою фрезою з комбінованою схемою різання.....	64
4	Конструкція чистової косокутної торцевої фрези з комбінованою схемою різання.....	66
4.1	Опис конструкції фрези з комбінованою схемою різання.....	66
4.2	Послідовність складання фрези.....	68
4.3	Розташування нерухомих різальних ножів фрези в процесі обробки з комбінованою схемою різання.....	70
	Висновки.....	77
	Перелік використаних джерел.....	78

ВСТУП

Фрезерування торцеве – це технологія обробки металевих заготовок із використанням спеціальних фрез. Основною перевагою такого способу обробки є можливість отримання високої точності та якості обробленої поверхні. Цей метод знайшов широке застосування у різних галузях промисловості, де потрібна висока точність та якість обробки.

Особливістю торцевого фрезерування по металу є те, що фреза виконує обертальний рух, а заготовка – прямолінійний або плоский рух. При цьому фреза обробляє припуски на торці заготовки, формуючи необхідну геометрію та якість поверхні. Для цієї операції використовуються спеціальні установки та інструменти, які дозволяють працювати з високою точністю та швидкістю.

Інструмент, який оснащений надтвердими матеріалами (НМТ), широко застосовується в останні роки для чистової та напівчистової обробки деталей із високоміцних чавунів і загартованих сталей. Використання прогресивних схем різання та раціональної геометрії різальних частин дозволяють підвищити зносостійкість інструменту та якість обробки плоских поверхонь.

Перевагою технологічних процесів, у яких використовуються торцеві фрези оснащені надтвердими матеріалами, є можливість забезпечити високі експлуатаційні характеристики оброблених поверхонь.

Існують конструкції торцевих фрез, в яких застосовуються схеми фрезерування, де для підвищення якості обробки плоских поверхонь чавунних та сталевих загартованих деталей ножі рухаються в процесі обробки відносно корпусу фрези. Однак їх аналіз показує, що шорсткість обробленої поверхні у напрямку, перпендикулярному вектору подачі заготовки, є змінною по дузі контакту різального ножа із заготовкою, що обмежує можливості торцевих фрез.

Саме тому розробка нових конструкцій торцевих фрез, які оснащені НМТ, для чистової обробки плоских відкритих поверхонь чавунних та сталевих загартованих деталей, ступінчастих схем розташування ножів з косокутною геометрією, раціональною схемою різання є актуальною і має важливе значення на сучасному етапі розвитку машинобудування.

1 ТОРЦЕВЕ ФРЕЗЕРУВАННЯ У МАШИНОБУДУВАННІ

Фрезерування торцеве по металу – це процес обробки поверхонь металевих деталей з використанням спеціальних інструментів – фрез, які здійснюють обертальний рух. Головна мета торцевого фрезерування – створення плоских та рівних поверхонь на заготовці.

Торцеве фрезерування широко застосовується в металообробній промисловості, особливо в процесі виробництва складальних механізмів, машин та обладнання. Цей вид фрезерування використовується для створення різних отворів, пазів, канавок, площин та інших деталей, які вимагають високої точності та якості обробки.

Торцеве фрезерування є одним із основних видів обробки металу на фрезерних верстатах. Дана технологія дозволяє створювати різні елементи та деталі з металу з високою точністю та якістю. Торцеве фрезерування використовується у різних галузях промисловості, таких як машинобудування, автомобільна промисловість, аерокосмічна промисловість та інші.

Процес торцевого фрезерування дозволяє обробляти різні типи металу, такі як сталь, алюміній, латунь та інші. Для цього використовуються спеціальні фрези, які мають відповідну геометрію та гострі ріжучі кромки. У процесі фрезерування металу торцевого здійснюється видалення зайвого матеріалу з поверхні деталі за допомогою обертання фрези.

Застосування торцевого фрезерування металу включає створення різних елементів і деталей, таких як шестерні, зубчасті колеса, фланці та інші деталі машин і механізмів. Також ця технологія використовується для створення прецизійних отворів та пазів у металевих деталях. Фрезерування торцеве дозволяє отримати високу точність обробки, а також забезпечує можливість створення складних форм та контурів.

Основним інструментом для торцевого фрезерування є торцева фреза. Цей інструмент має жорсткий корпус із різальними ножами на кінці. Під час фрезерування ножі обертаються та обробляють поверхню торця. Отримана після фрезерування поверхня може мати різні форми та фактури, залежно від необхідного результату.

Технологія торцевого фрезерування є складною і потребує високої точності та професійного підходу. При виконанні цієї операції необхідно врахувати такі фактори, як вибір правильної швидкості обертання інструменту фрезерування, подача і глибина фрезерування.

Однією з основних переваг торцевого фрезерування металу є можливість обробки різних типів металу з високою точністю та якістю. Крім того, дана технологія дозволяє скоротити час виконання робіт та покращити продуктивність процесу виготовлення деталей. Також важливими перевагами торцевого фрезерування металу є можливості обробки великих серій деталей з високою швидкістю і точністю. Торцеве фрезерування також дозволяє виконувати складні операції обробки, такі як створення конічних поверхонь, отворів різьбових і фрезерування під кутом.

Однак фрезерування торцеве по металу має і недоліки. По-перше, це висока вартість обладнання та спеціалізованих інструментів для фрезерування. Крім того, процес фрезерування вимагає високої кваліфікації операторів, оскільки будь-яка помилка в налаштуванні обладнання або виборі параметрів фрезерування може призвести до пошкодження деталі або неправильної обробки.

Другим недоліком торцевого фрезерування є необхідність тривалої підготовки деталі перед виконанням операції. Необхідно точно виміряти та зафіксувати деталь, провести попередні механічні обробки, такі як свердління або нарізка різьблення, що потребує додаткових тимчасових та фінансових витрат.

В цілому торцеве фрезерування по металу є ефективним і точним способом обробки металевих деталей, але вимагає високої кваліфікації операторів, спеціалізованого обладнання та додаткової підготовки. Правильне використання та обслуговування обладнання дозволить досягти високих результатів у процесі фрезерування.

Результати торцевого фрезерування металу в промисловості можуть бути використані для складання різних механізмів і обладнання. Наприклад, фрезерування дозволяє створювати деталі для автомобільної промисловості, такі як колінчасті вали та поршні. У сфері суднобудування фрезерування використовується виготовлення деталей корпусів, рульового управління та інших компонентів суден.

Фрезерування торцеве по металу також застосовується у виробництві верстатів та інструментів. За допомогою фрезерування можна створювати деталі для верстатів, такі як напрямні рейки та шестерні. У виробництві інструментів фрезерування використовується для створення різальних елементів, таких як свердла та фрези.

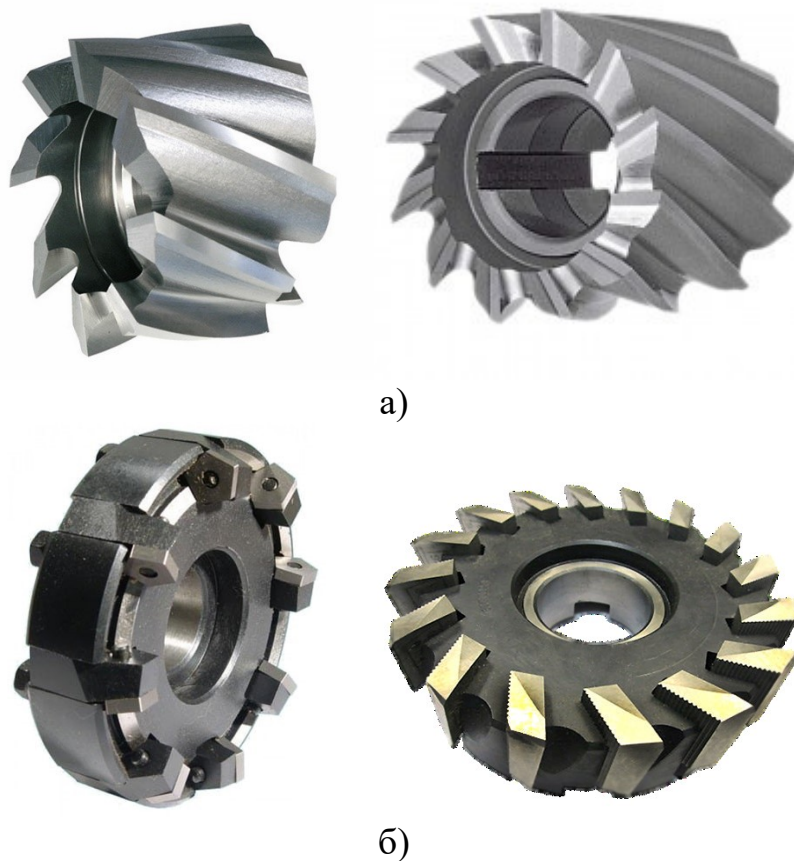
Таким чином, торцеве фрезерування по металу знаходить широке застосування в різних галузях промисловості, забезпечуючи високу точність і якість обробки деталей. Цей процес є важливою частиною виробничих процесів та сприяє розвитку промисловості загалом.

1.1 Види фрез. Методи фрезерування

Варіантів даного інструменту досить багато – через великий обсяг та актуальність тих завдань, які можна вирішити за його допомогою. Всю різноманітність поділяють за декількома показниками, перший з яких – метал

виконання ріжучої частини. Це може бути або вуглецева сталь (найчастіше), або мінералокерамічні сплави (рідше), або алмази (в обмежених випадках – для шліфування особливо твердих поверхонь).

Наступний параметр – конструкція, за якою виділяють цільні чи збірні моделі. Перші монолітні зуби розташовані прямо в корпусі, у других вставні кромки. Подивіться, як у кожному випадку виглядає торцева фреза, креслення наочно демонструє різницю.



а) цільні фрези; б) збірні фрези

Рисунок 1.2 – Конструкції фрез

Форма різців - ще одні класифікатор, і вона може бути округленою, прямою і криволінійною (складною). Від геометрії залежить інтенсивність впливу сил

биття, отже, і знос. Найбільш довговічним вважаються U-подібні леза, тому вони використовуються для чорнових та напівчистових операцій.

Встановлюватись інструменти можуть як на хвостовик – тоді вони кінцеві, так і в оправу зі шпонкою – тоді вони надсадні, зручні для знімання металу з уступів та чавунних поверхонь. Обидва варіанти виконуються зі швидкорізальної сталі, тому відрізняються порівняно гарною міцністю. Якість кріплення торцевих фрез при цьому зазвичай однаково висока.



а)



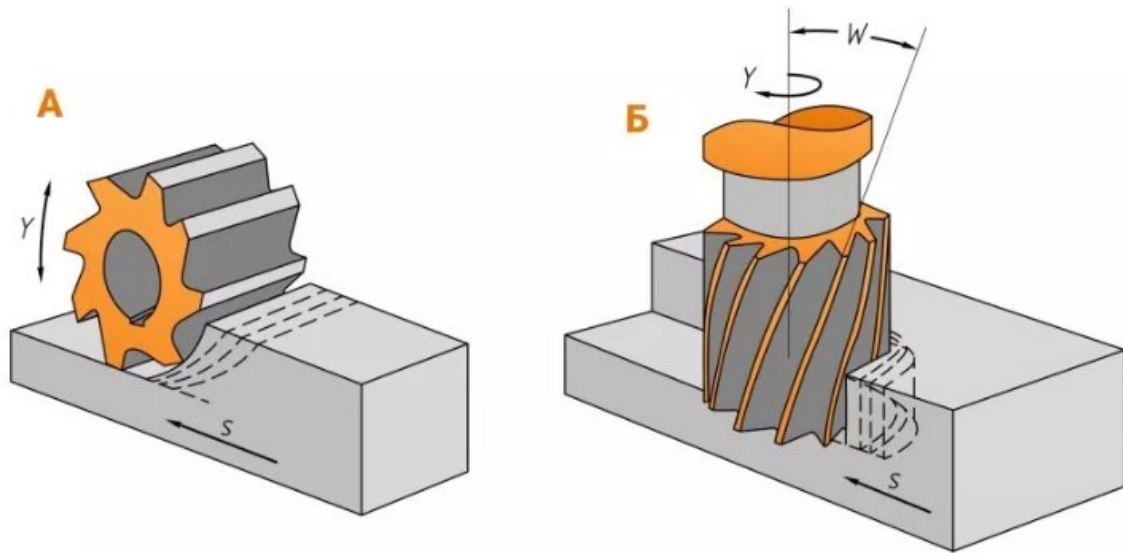
б)

Рисунок 1.3 – Типи кріплення фрез

Принцип обробки на фрезерних верстатах передбачає переривчасту обробку заготовки: кожен зуб фрези занурюється в метал на різну глибину та видаляє стружку різної товщини.

Фрезерування буває:

- циліндричним (рис.1.4 а)– у процес різання залучені периферійні зубці фрези, обробляється плоска поверхня, яка розташована паралельно до осі обертання ріжучого інструменту;
- торцевим (рис 1.4 б) – різання проводиться торцевою та периферійною частинами фрези, глибина різу збільшується до центру та зменшується у точках виходу із взаємодії із заготівлею, так створюються канавки, пази, зрізаються торці, чорнова обробка габаритів заготовок.

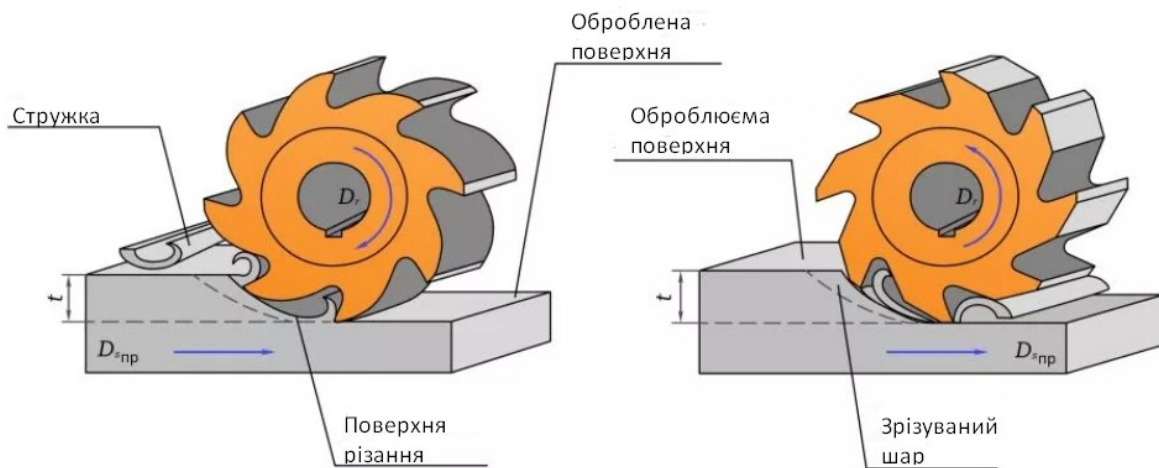


а) циліндричне фрезерування; б) торцеве фрезерування

Рисунок 1.4 – Види фрезерування

Всі види робіт, що виконуються на фрезерних верстатах, є поєднанням цих двох методів обробки.

Найпоширеніші методи фрезерування – зустрічне та попутне.



а) зустрічне

б) попутне

Рисунок 1.5 – Методи фрезерування

Зустрічне, або «проти подачі», коли фреза (її ріжучі кромки) і оброблена заготовка рухаються назустріч один одному.

Переваги:

- м'яке різання з невисоким навантаженням на вузли верстата;
- мінімальна деформація металу;
- Висока продуктивність обробки.

Недоліки:

- потрібно звертати особливу увагу на надійну фіксацію заготівлі, зустрічний рух подачі протидіє силам різання і деталь буквально відриває від столу, зони кріплення;

- при роботі на високих режимах можливе швидке зношування інструменту - важливо правильно підібрати режими різання;

- стружка, що утворюється, нерідко потрапляє, застряє прямо в точках дотику ріжучої кромки і шару металу, що знімається.

Попутне, або «по подачі», коли різальний інструмент обертається в тому ж напрямку, в якому рухається заготівля.

Переваги:

- в умовах відсутності проти ходу немає необхідності сильно закріплювати заготовку до столу, достатньо притискної сили в процесі різання, сили різання забезпечать жорсткість сполучення;

- різальні кромки фрези при переміщенні вздовж руху затупляються менше;
- стружка не потрапляє під ріжучу кромку;
- знімання металу виробляється плавно, вдається досягти оптимального рівня шорсткості.

Недоліки:

- метод не підходить для обробки грубих поверхонь, обдирних операцій, в основному це чистові операції;

- тверді вкраплення, неоднорідність шару металу, заготовки після поверхневого зміцнення (наприклад, Термообробки) може призводити до швидкого зносу ріжучої кромки;
- станина верстата повинна бути дуже жорстка, щоб уникнути вібрацій.

Вибір методу обробки залежить від поставлених завдань та типу матеріалу, з якого виготовляють виріб на фрезерному верстаті. Обдирні роботи виконуються виключно проти подачі, цей метод вибирають за наявності в матеріалі твердих включень. М'які метали краще обробляти по подачі.

Види та призначення фрез

Фреза, лезовий інструмент, який є тілом обертання, на поверхні якого розташовані ріжучі елементи - зуби. Найбільшого поширення мають фрези з непереточуваними пластинками (СМП) із твердосплавних матеріалів. Вигляд фрези вибирають залежно від того, які роботи виконуватимуться на фрезерному верстаті ЧПУ.

Конструктивно виділяють такі види фрез:

1. кільцеві, корончасті свердла – для високоточного швидкісного свердління;
2. циліндричні – можуть бути прямозубними або мати гвинтові зубці, перші використовуються для обробки прямих поверхонь, другі – різних;
3. фасонні – мають гострі чи потилювані зубці та використовуються для фасонної обробки поверхонь;
4. черв'ячні – спрофільований черв'як з ріжучими зубами, що застосовується для створення циліндричних та шліцевих зубчастих коліс;
5. кінцеві - призначені для створення пазів та уступів;
6. кутові – спеціально розроблені для обробки кутів, криволінійних поверхонь;

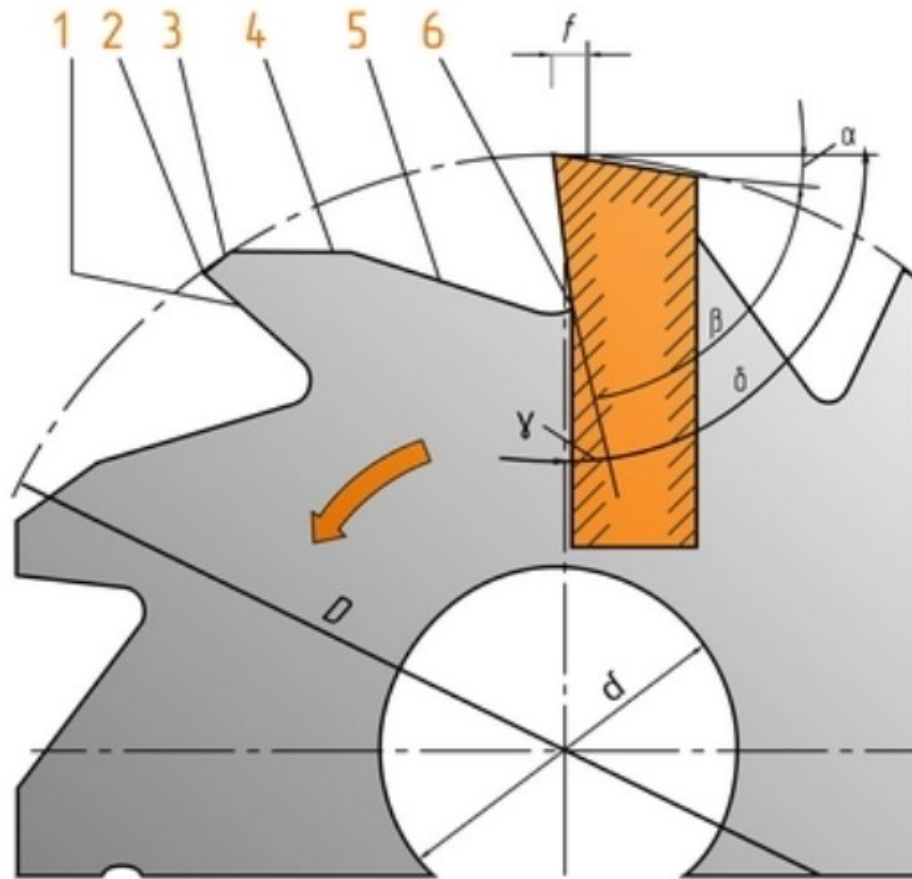
7. дискові – ріжучі диски, що головним чином застосовуються для різання заготовок та створення канавок;

8. торцеві – різновид дискових з великою кількістю монолітних або змінних ріжучих пластин, що використовуються для чистової обробки.



Рисунок 1.6 – Різні види різального інструменту (фрез) для обробки заготовок на фрезерному верстаті

Зуби фрези можуть бути гострими і затилованими. Перші вважаються універсальними, можуть виконуватися у формі трапеції, параболи, з подвійною спинкою. Другі переважно застосовуються для фасонної обробки виробів, задня поверхня таких зубів має вигляд архімедової спіралі.



- 1 – передня поверхня зуба; 2 – ріжуча кромка; 3 – перехід від ріжучої кромки до задньої поверхні; 4 – задня поверхня зуба; 5 – спинка зуба;
6 – радіус стружкової канавки

Рисунок 1.7 – Основні конструктивні елементи зуба фрези та кути, що впливають на вибір інструменту

Параметри, які визначають режим роботи фрезерування

- Швидкість різання – шлях, який проходить за хвилину чи секунду максимально віддалена від осі обертання точка ріжучої кромки.

- Подача: на зуб – час переміщення деталі/фрези за крок, тобто кут між зубами; на 1 оборот – переміщення під час повного обороту фрези; хвилинна подача – переміщення за хвилину.

- Глибина різання – відстань між поверхнями до та після обробки.
- Ширина обробки – ширина зони, обробленої один хід фрези.

Зі збільшенням діаметра фрези швидкість різання зростає, зуби краще охолоджуються, оскільки подовжується проміжок часу перебування поза зоною різання. Можливості збільшення діаметра інструменту обмежені потужністю, жорсткістю верстата та розміром отвору посадки в шпинделі.

Що впливає на якість обробки:

- Попадання стружки в зону різання - можлива поява браку, пошкодження фрези, втрата якості шорсткості вже обробленої поверхні.
- Надмірне підвищення температури в зоні різання – з'являються наклепи, краї ріжучих кромок інструменту стають твердішими та менш міцними.
- Вібрації - ускладнюють нормальний перебіг процесу різання, знижують підсумкову якість - виконання розмірів, шорсткості та ін технічних вимог.

Для виготовлення якісного виробу на верстаті необхідно правильно підібрати режими різання та унеможливити вплив негативних факторів: забезпечити відведення стружки, подачу МОР у зону різання, забезпечити надійне кріплення пристосувань та заготовки, жорсткість системи ВПД.

2 ОСОБЛИВОСТІ ЧИСТОВОГО ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ТА ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЇХ ОБРОБКИ

2.1. Процес формоутворення плоских поверхонь при чистовому торцевому фрезеруванні

Корпуси механізмів, приладів, апаратів, а також опори, рами, станіни становлять понад 15% загального обсягу виробництва в галузі машинобудування і металообробки. Зазвичай, для виготовлення цих деталей використовують чавун (понад 62%) і загартовану сталь (понад 17%) [1].

При цьому вимоги до точності обробки не перевищують V-VI квалітету для точності форми (згідно з ГОСТ 24643-81) і шорсткість поверхні деталі складає $Ra = 0,62-1,6$ мкм. З метою забезпечення підвищеної продуктивності використовуються чистові торцеві фрези, які оснащені надтвердими матеріалами. Ці фрези виступають як обертальний інструмент, який взаємодіє з поверхнею деталі, а на їх торцевій поверхні розташовані різальні елементи (ножі) [2].

Якість обробки плоских поверхонь при чистовому торцевому фрезеруванні визначається:

- 1) геометричними характеристиками оброблених поверхонь;
- 2) точністю обробки;
- 3) фізичними характеристиками поверхневого шару і його експлуатаційними властивостями.

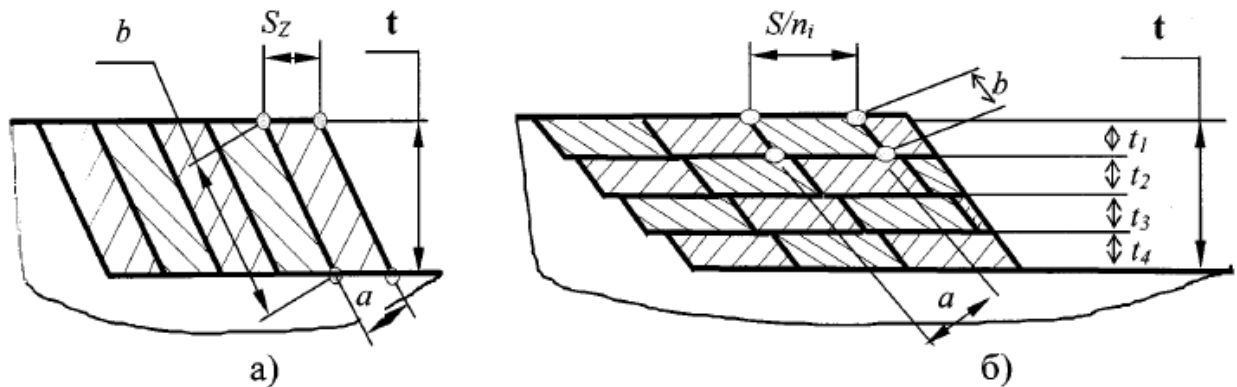
Формоутворення плоских поверхонь при чистовому торцевому фрезеруванні великою мірою залежить від:

- схем фрезерування;
- геометрії різальних кромek ножів фрез;
- режиму обробки.

2.1.1 Схеми фрезерування

Схема виконання зрізання припуску має важливий вплив на різноманітні аспекти, такі як конструкція інструмента, його технологічність, вартість виробництва, ефективність та якість оброблених поверхонь, а також зусилля та потужність різання.

У більшості випадків конструкцій торцевих фрез з НМТ застосовуються схеми зрізання, що дотримуються принципів розподілу припуску за подачею (див. рис. 2.1.а) або за глибиною (див. рис. 2.1.б) [3].



а - за подачею; б - за глибиною

Рисунок 2.1 – Схеми різання торцевими фрезами з розподілом припуску

Для схеми різання, де припуск розподіляється за подачею, розмір подачі на один зуб (S_z) визначається наступним чином:

$$S_z = \frac{S_0}{z} \quad (2.1)$$

де S_0 - подача на оберт, мм/об; z - кількість різальних ножів фрези.

При використанні схеми різання за методом розподілу припуску за глибиною, різальні ножі розташовані в радіальному напрямку на різних відстанях від осі фрези, та в осьовому напрямку розташовані ступінчасто (див. рис. 2.1.б).

Тоді подача на зуб буде дорівнювати:

$$S_z = \frac{S_0}{z_{\text{ст}}} = \frac{S_0 * n_{\text{ст}}}{z} \quad (2.2)$$

Де $z_{\text{ст}}$ - кількість ножів у ступенях; $n_{\text{ст}}$ - кількість ступенів фрези.

Для більшості конструкцій фрез розмір подачі на зуб (S_z) зазвичай становить від 0,01 до 0,04 мм/зуб, що вимагає високих стандартів точності в розташуванні різальних ножів. Проте через можливі похибки при базуванні та фіксації фрез на верстатах, а також осьових та радіальних ударах шпинделів верстатів, помилок у заточці та налаштуванні ножів, різальні кромки фрез можуть допускати значні похибки, які перевищують розмір подачі S_z . Це призводить до того, що лише обмежена кількість ножів бере участь у різанні, формуючи поверхню заготовки за допомогою лише одного (найбільш виступаючого) ножа, що призводить до зниження стійкості фрез та продуктивності обробки.

Збільшення подачі на зуб для ступінчастих фрез при тих же биттях різальних кромок призводить до збільшення кількості ножів, які беруть участь у різанні.

Таким чином, виходячи із аналізу схем різання, можна відмітити наступне:

- для більшості фрез, що призначені для чистової обробки, використовують схему різання з розподілом припуску за подачею (одноступінчасті фрези) або глибиною (ступінчасті фрези);
- радіальні та торцеві биття різальних кромок ножів призводять до невизначеності різального ножа, що формує оброблювану поверхню.

Розробка торцевих фрез із визначеним формоутворюючим ножом із визначеною геометрією для фінішної обробки чавунів і загартованих сталей можлива лише за умови проведення аналізу конструктивних елементів та режимів різання як одно- так і багатоступінчастими торцевими фрезами. Зокрема, необхідно першочергово розглянути питання, пов'язані з геометричними параметрами і режимами різання, що використовуються. Це дозволить обрати оптимальний режим експлуатації фрез, а також раціональну геометрію різальних частин ножів, які видаляють основний припуск, а також ножа, що формує оброблювану поверхню.

2.1.2 Геометрія різальних ножів чистових торцевих фрез

Для досягнення підвищеної продуктивності, якості обробки та зносостійкості інструменту в роботах різних авторів визначалася раціональна геометрія різальних ножів торцевих фрез.

В роботі [4] для торцевого фрезерування чавунних деталей, оснащених НТМ, взамін шліфування запропонована наступна геометрія різальних ножів: $\gamma = -5 - 8^\circ$, $\alpha = 8-12^\circ$, $\varphi = 35-45^\circ$, $\varphi_1 = 10-15^\circ$, $\lambda = 0^\circ$.

В статті [5], в якій проводиться дослідження процесу фрезерування загартованої сталі і чавуну торцевою фрезою з шістьма різальними ножами із НТМ, рекомендовано: $\gamma = -5^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $\varphi = 35^\circ$, $\varphi_1 = 15^\circ$, $\lambda = 0^\circ$. Використана торцева зачисна кромка довжиною 0,3 - 0,5 мм, $\varphi_3 = 0^\circ$, $\alpha_3 = 8^\circ$. При обробці сталі ХВГ (62-64 HRC) величина Ra визначалася в межах 0,26-0,38 мкм.

При чистовій обробці ступінчастою торцевою фрезою автором [6] визначена оптимальна (з точки зору стійкості інструменту) геометрія: передній

кут $\gamma = -6 - 18^\circ$, задній кут $\alpha = 6 - 25^\circ$, радіус при вершині різального ножа $r = 0,4 - 0,8$ мм, $\lambda = 0^\circ$.

При фрезеруванні сірого чавуну торцевими фрезами автором [7] рекомендована оптимальна з точки зору підвищення стійкості інструменту геометрія різальних ножів: $\gamma = 5^\circ$, $\alpha = 15^\circ$, $\lambda = 5^\circ$, $\varphi = 88^\circ$, $\varphi_I = 2^\circ$, $\varphi_0 = 45^\circ$, $f_0 = 4$ мм.

Для чистової обробки плоских поверхонь в роботі [8] різальні ножі торцевих фрез, оснащених НТМ, мають такі параметри: $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 12^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_I = 15^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, радіус при вершині $r = 0,5 - 1,5$ мм. Запропонована геометрія дозволяє отримати поверхні з відхиленням від площинності до 0,01 мм на 1 м довжини з шорсткістю $Ra < 0,63$ мкм.

В роботі [9] стверджується, що найбільша працездатність торцевих фрез була досягнута при наступній геометрії різальних ножів: $\gamma = -3 - 10^\circ$, $\alpha = 8 - 10^\circ$, $\varphi = 20 - 35^\circ$, $\varphi_I = 2 - 5^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $r = 0,8 - 1,2$ мм.

При чистовій обробці ступінчастою торцевою фрезою косокутного різання $\lambda \neq 0^\circ$ автором [3] встановлено, що найбільша працездатність торцевих фрез досягається при наступній геометрії різальних ножів: $\gamma = -10 - 15^\circ$, $\alpha = 8 - 12^\circ$, $\varphi = 25 - 30^\circ$, $\varphi_I = 4 - 6^\circ$, $r = 1,1 - 1,5$ мм.

Аналіз представлених робіт показує, що перевага віддається прямокутному різанню ($\lambda = 0^\circ$) і косокутне різання $\lambda \neq 0^\circ$ вивчено недостатньою мірою, що є предметом для подальших досліджень.

Раціональна геометрія різальних ножів торцевих фрез. різними авторами наведена на рис. 2.2.

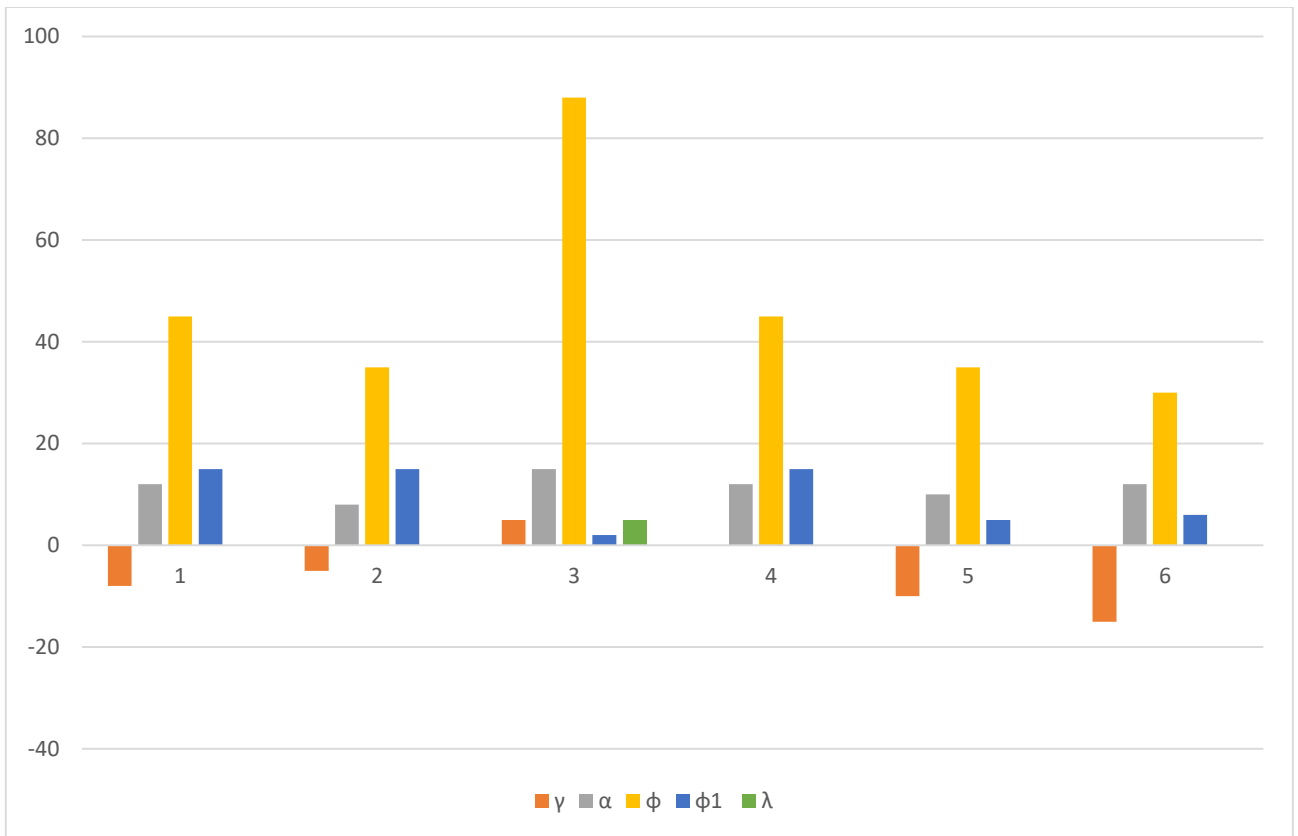


Рисунок 2.2 – Геометрія різальних ножів чистових торцевих фрез за різними джерелами

2.1.3 Режими обробки і елементи зрізаного шару при торцевому фрезеруванні

Параметри обробки торцевого фрезерування включають такі значення: швидкість різання (V), подача (хвилинна S_{x6} , на оберт $S_{об}$, на зуб S_z), глибина фрезерування (t), ширина фрезерування (B), і кут контакту між фрезою і заготовкою (ψ) [10].

Дослідження [11, 12, 13, 14, 15] показали, що для чистового торцевого фрезерування оптимальними є певні значення режимів різання з точки зору максимальної стійкості інструменту (див. таблицю 2.1).

Таблиця 2.1 – Режими різання

Оброблюваний матеріал	Режими різання		
	V, м/с	S _z , мм/зуб	t, мм
Сталь 40Х (40 HRC)	1-2	0,04-0,12	0,1-0,5
	2-3	0,04-0,12	0,1-0,5
Сталь 40Х (50 HRC)	1-2	0,04-0,1	0,1-0,5
	2-6	0,04-0,1	0,1-0,5
Сталь ХВГ (62 HRC)	1-1,5	0,04-0,08	0,1-0,5
	1,5-4	0,04-0,08	0,1-0,5
СЧ20 (190 HB)	3-10	0,1-0,3	0,1-1
СЧ20 (190HB)	10-16	0,1-0,3	0,1-1

Геометрія зрізаного шару при торцевому фрезеруванні залежить від положення різального інструменту відносно заготовки (див. рис. 2.3) [16].

Фрезерування може бути симетричним (рис. 2.3 а) або несиметричним (рис. 2.3 б, рис. 2.3 в), в залежності від положення фрези відносно заготовки. У обох випадках товщина зрізаного шару не дорівнює нулю у момент введення ножа фрези в заготовку. Форма перерізу зрізаного шару є паралелограмом з товщиною "а" і шириною "b". Товщина є змінною і визначається миттєвим кутом ψ_x ножа на поверхні різання.

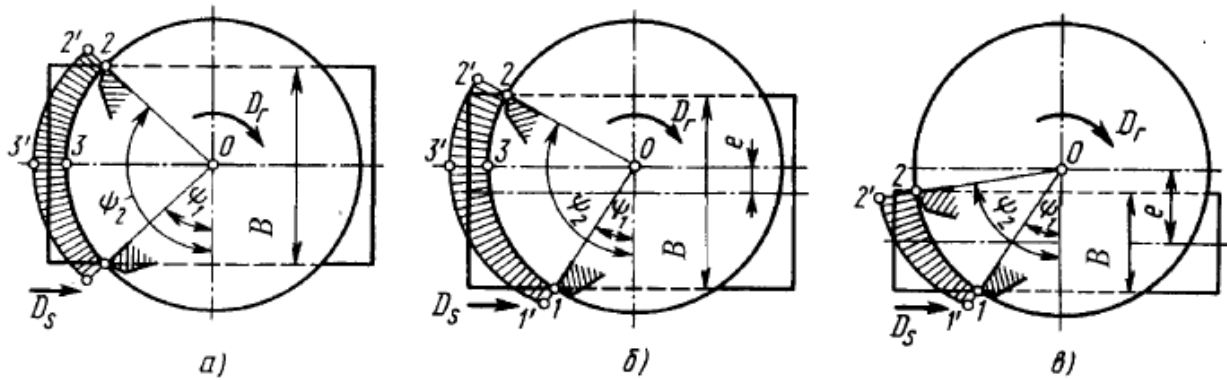


Рисунок 2.3 - Схеми розташування різального інструменту відносно заготовки при торцевому фрезеруванні

У випадку симетричного фрезерування товщина зрізаного шару змінюється від мінімального значення при вході в обробку до максимального, а потім знову до мінімального при виході [10].

При частково симетричному фрезеруванні товщина зрізаного шару для будь-якого положення ножа фрези, визначеного миттєвим кутом ψ_x , визначається як:

$$a_x = S_z \sin \psi_x \sin \varphi \quad (2.3)$$

2.2 Аналіз конструкцій чистових косокутних торцевих фрез з комбінованими схемами різання

При обробці плоских поверхонь використовуються дві конструкції фрез:

- Конструкція, в якій видалення припуску відбувається за допомогою ножів, які залишаються нерухомими щодо корпусу фрези протягом обробки.

- Конструкція, в якій ножі можуть змінювати своє положення відносно корпусу фрези в процесі обробки.

Останню конструкцію фрез з різальними ножами, які можуть рухатися вздовж осі в процесі роботи інструмента, можна поділити на дві підгрупи:

- З регульованою жорсткістю різальних ножів.
- Конструкції фрез із нерегульованою жорсткістю різальних ножів.

З регульованою жорсткістю різальних ножів [17, 18], що мають змогу переміщуватись в осьовому напрямку відносно корпусу фрези під дією сили різання.

Так, у торцевій фрезі [17] (див. рис. 2.4), що складається з корпусу та двох ступенів із різальними ножами, розташованими з можливістю регулювання їх взаємного положення вздовж осі, ступені виконані як рухомі і пов'язані між собою через рівноплечий важіль. Важіль закріплений в корпусі фрези.

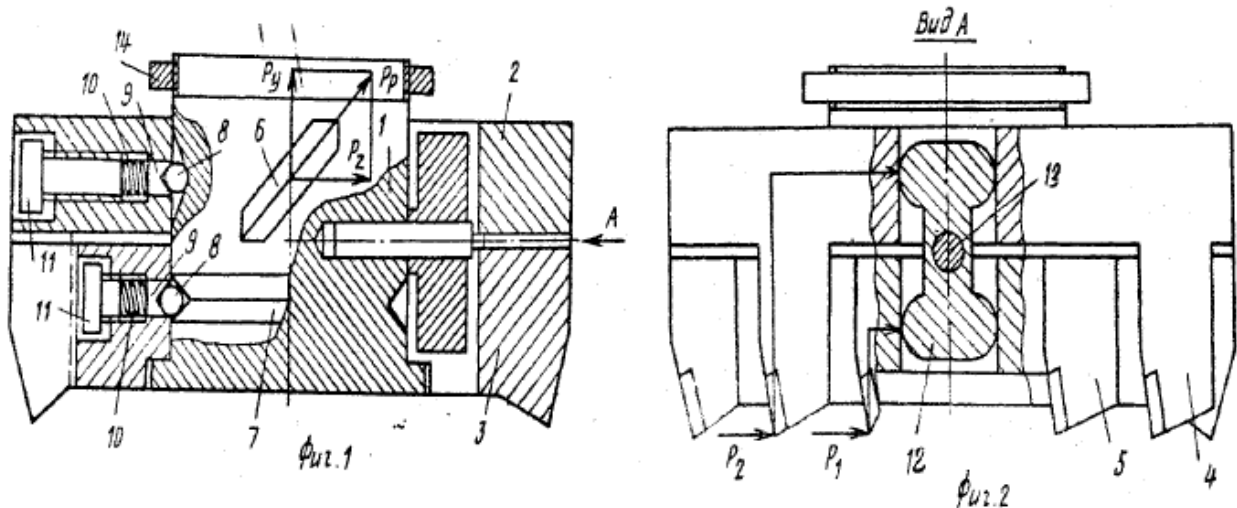


Рисунок 2.4 – Торцева фреза за а. с. 1053983 МКИ В 23 С 5/06

Торцева ступінчаста фреза складається з корпусу 1 та двох ступіней з різальними ножами - верхньої 2 та нижньої 3, встановлених на корпусі таким

чином, що кожний різальний ніж 4 верхньої ступіні входить у виріз між різальними ножами 5 нижньої ступіні. Верхня ступінь має можливість обертатися навколо вісі фрези та одночасно переміщуватися вздовж її по похилим направляючим канавкам 6 корпусу, орієнтація яких відповідає орієнтації результуючої R , осьової та колової складової сили різання. Нижня ступінь має можливість обертатись навколо вісі фрези по кільцевим направляючим канавкам 7 корпусу. Переміщення ступіней по направляючим відбувається за допомогою шарів 8, що піджимаються до направляючих пальцями 9 та пружинами 1. Зусилля підтиску регулюються пружинами 11. Ступіні зв'язані між собою та з корпусом через рівноплечий важіль 12, який обертається навколо вісі 13, що закріплена в корпусі фрези. На корпусі встановлено також запобіжне кільце 14, яке при необхідності може служити в якості обмежувача глибини різання, що припадає на нижню ступінь для поліпшення якості поверхні обробленої деталі.

В даній конструкції фрези реалізована ступінчаста схема зрізання припуску, причому розподіл глибини різання між чорновими та чистовими ножами виконується завдяки важільній системі. Таку ж мету, хоча й дещо іншим шляхом, досягнуто в наступній конструкції.

У фрезі [18] (рис. 2.5) зовнішній корпус встановлений з можливістю осьового переміщення в процесі різання і підпружинений до торця оправки.

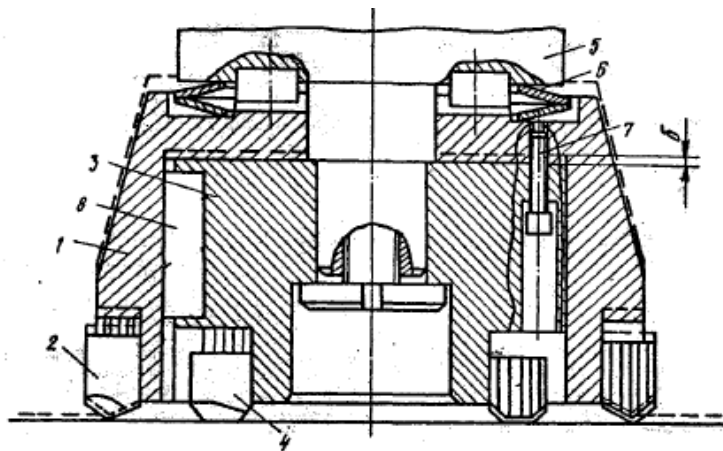


Рисунок 2.5 - Торцева фреза за а. с. 600757 МКИ В 23 С 5/06

Корпус торцевої фрези складається з двох частин, зовнішньої 1 з чорновими різальними ножами 2 та внутрішньої 3 з чистовими різальними ножами 4. Між оправкою 5 і торцем зовнішньої частини 1 корпусу встановлена пружина 6, яка забезпечує в процесі різання осьове зміщення зовнішньої частини корпусу відносно жорстко закріпленої внутрішньої частини 3. Жорсткість пружини 6 визначає величину сили зміщення корпусу 1. Гвинти 7 призначені для регулювання величини зазору 3, на який зміщується зовнішня частина 1 корпусу. Це зміщення визначає розподіл припуску на чорновий та чистовий. Шпонка 8 забезпечує передачу крутного моменту зовнішньої частини корпусу від внутрішньої.

В залежності від умов різання можливе встановлення чистових різальних ножів з відхиленням відносно чорнових. Величина чистового припуску буде відповідати зазначеному зміщенню різальних ножів і зсуву чорнових ножів під впливом сил різання. Положення зовнішньої частини корпусу під час різання показано пунктиром. Утворений припуск за рахунок зсуву чорнових різальних ножів 2 видаляється чистовими різальними ножами 4. Таким чином, чистовий етап різання синхронізований з чорновим.

Суттєвим недоліком таких конструкцій є їхнє схильність до вібрацій, що впливає на якість обробки. Крім того, ці фрези конструктивно виявляються досить складними. Цей недолік вирішено в наступній конструкції.

Конструкції фрез із нерегульованою жорсткістю різальних ножів.

Винахід [19] є вдосконаленням попередньої конструкції. Це досягнуто шляхом з'єднання зовнішньої обойми корпусу з внутрішньою пружною перемичкою (рис. 2.6).

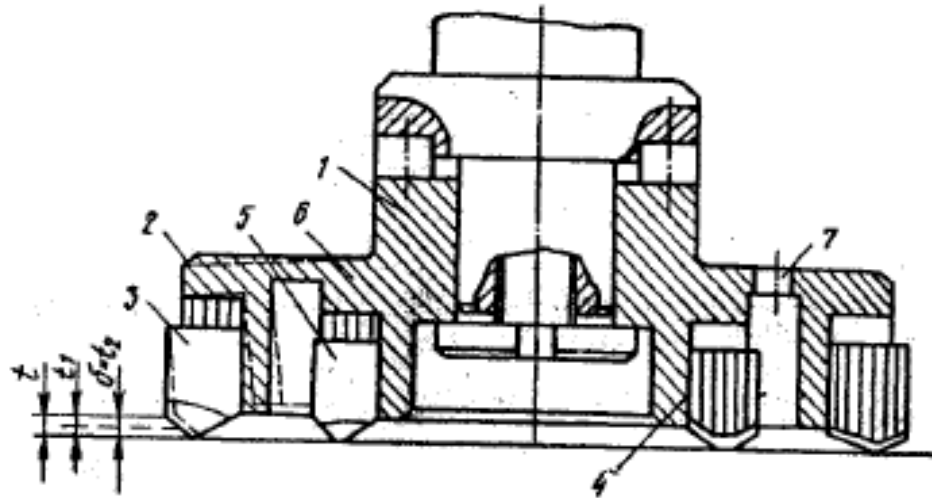


Рисунок 2.6 - Торцева фреза за а. с. 623311 МКИ В 23 С 5/06

Корпус 1 фрези складається з двох концентрично розташованих частин: рухомої зовнішньої обойми 2 з чорновими ножами 3 та жорстко закріпленої внутрішньої обойми 4 з чистовими ножами 5. Обойми з'єднані між собою пружною перемичкою 6. Товщина перемички визначає її пружні властивості. Для підвищення пружності перемичка може мати вікна 7. Чорнові та чистові ножі настроєні по висоті на одну величину. Зовнішня обойма податлива завдяки пружній перемичці і зміщуються від деталі в процесі різання на величину δ .

Положення зовнішньої обойми в процесі різання вказано пунктиром. Йому відповідає розподіл загального припуску t на чорновий t_1 , що знімається ножами 3, і чистовий t_2 , що знімається ножами 5. Величину чистового припуску t_2 визначає ступінь деформації пружної перемички. Зі зміною загального припуску зберігається співвідношення між чорновим t_1 та чистовим t_2 припусками. Головною перевагою цієї фрези є її простота відносно прототипу. А основним недоліком є її призначення для досить вузького діапазону фізико-механічних властивостей оброблюваних матеріалів.

Конструкція фрези [20] (рис. 2.7) не є ступінчастою, але реалізує багато прохідну обробку завдяки конструктивним особливостям за рахунок

автоматичного поділу припуску. Виліт регулюється за допомогою клинових ножів 4 та гвинтів 5. В якості осьової опори різальних вузлів використовуються пелюстки 6 корпусу, які в силу своєї різної товщини мають різну жорсткість.

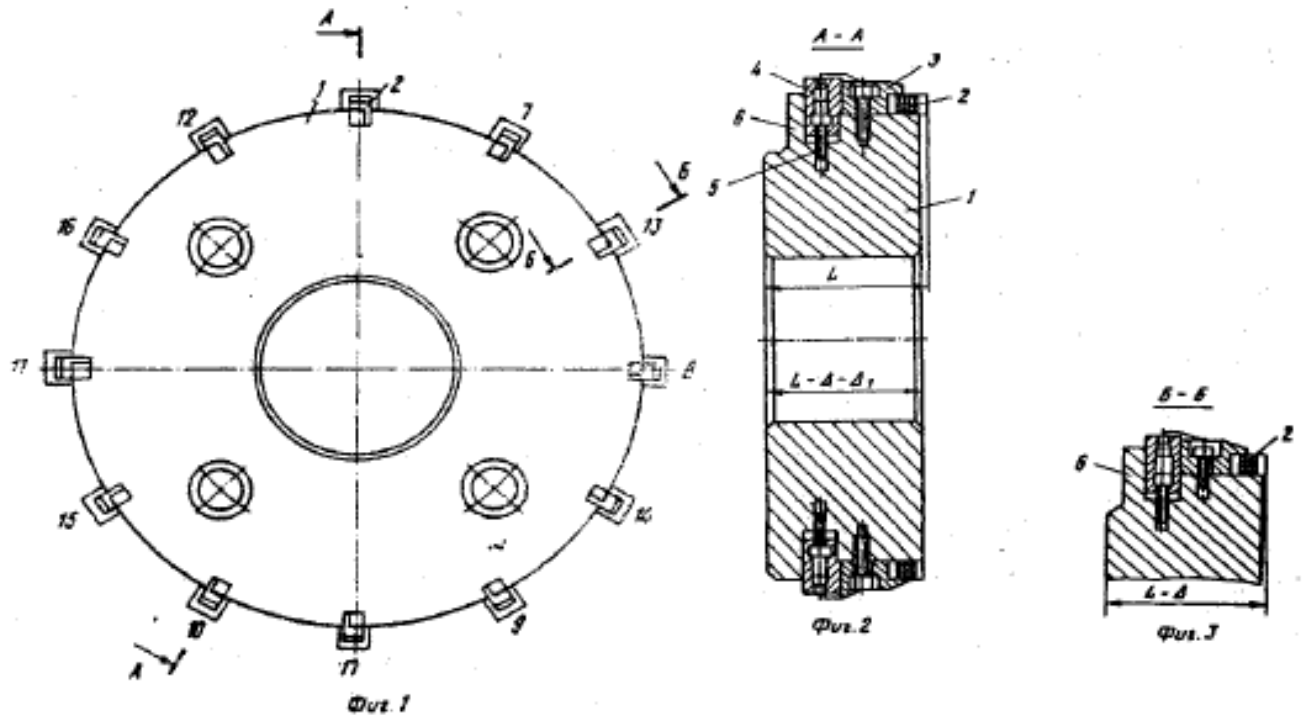


Рисунок 2.7 - Торцева фреза за а.с. 1174177 МКИ В 23 С 5/06

Першу групу складають ножі 7-12. Торцева фреза складається з корпусу 1, в пазах якого встановлені різальні ножі 2, що піджимаються до опорних поверхонь пазів закріплюючими елементами

3. Різальні ножі розподілені на групи, кожна з яких має свій осьовий установки та максимальну жорсткість відповідних пелюстків корпусу 1.

Другу групу складають ножі 13-16. Ця група має проміжний розмір осьової установки та проміжну жорсткість відповідних пелюстків корпусу.

Третю групу складають ножі 2 та 17, що мають максимальний виліт та мінімальну жорсткість пелюстків корпусу фрези. Суттєвим недоліком цього інструмента є складність різальних вузлів та настройки.

Схожу схему різання, але іншим методом, реалізує фреза [21] (рис. 2.8). Це досягається тим, що в корпусі фрези виконані гнізда, в яких нерухомо встановлені додаткові різальні ножі, при цьому гнізда розташовані на більшому по відношенню до рухомих ножів радіусі, а осьовий виліт рухомих ножів перевищує осьовий виліт нерухомих.

Торцева фреза має корпус з конічним хвостовиком, який встановлюється в конічний отвір шпинделя верстата. Нерухомі ножі закріплюються в корпусі фрези гвинтами. Рухомі в осьовому напрямку ножі 1, що формують оброблену поверхню, прижимаються пружинами до копіра 2, який приєднаний до корпусу верстата. Ножі, нерухомо закріплені в корпусі фрези, розташовані на більшому діаметрі, а в осьовому напрямку на відстані $t_2 + t_3$ від поверхні, що оброблюється. Ножі, що переміщуються в осьовому напрямку по копіру, розташовані на меншому діаметрі.

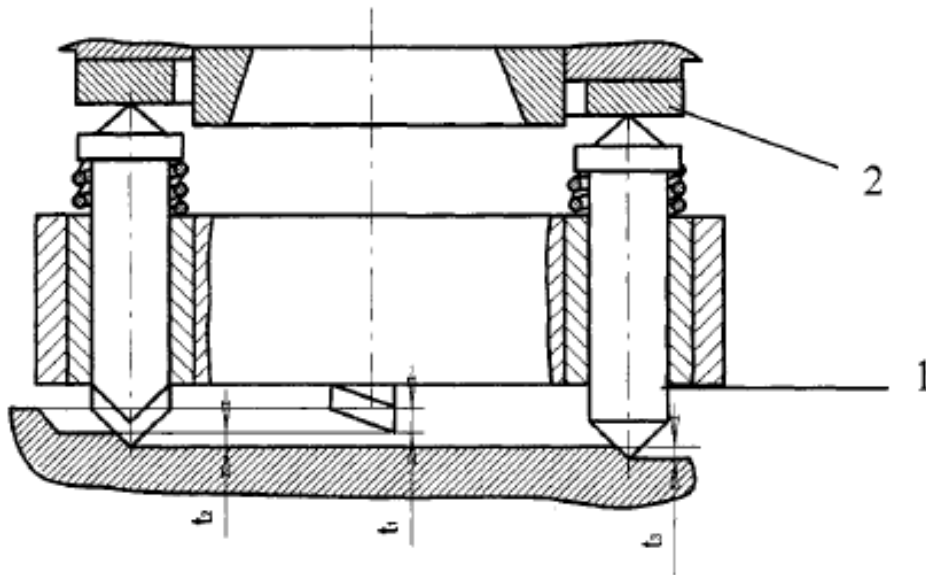


Рисунок 2.8 - Конструкція торцевої фрези за а. с. 971591, МКИ В 23 С 5/06

Така фреза суттєво підвищує продуктивність обробки. Але потребує частого контролю за осьовим вильотом рухомих ножів через те, що в даному

випадку зношуються не лише різальні ножі фрези, а і торці державок, що притискаються до копіра, а також і сам копір.

Відомі конструкції торцевих фрез з різальними ножами, рухомими в радіальному напрямку в процесі різання відносно корпусу фрези.

З регулюванням жорсткості різальних ножів.

В торцевій фрезі [22] здійснюється демпфування динамічних навантажень за рахунок можливості переміщення різальних вузлів в радіальному напрямку (рис. 2.9).

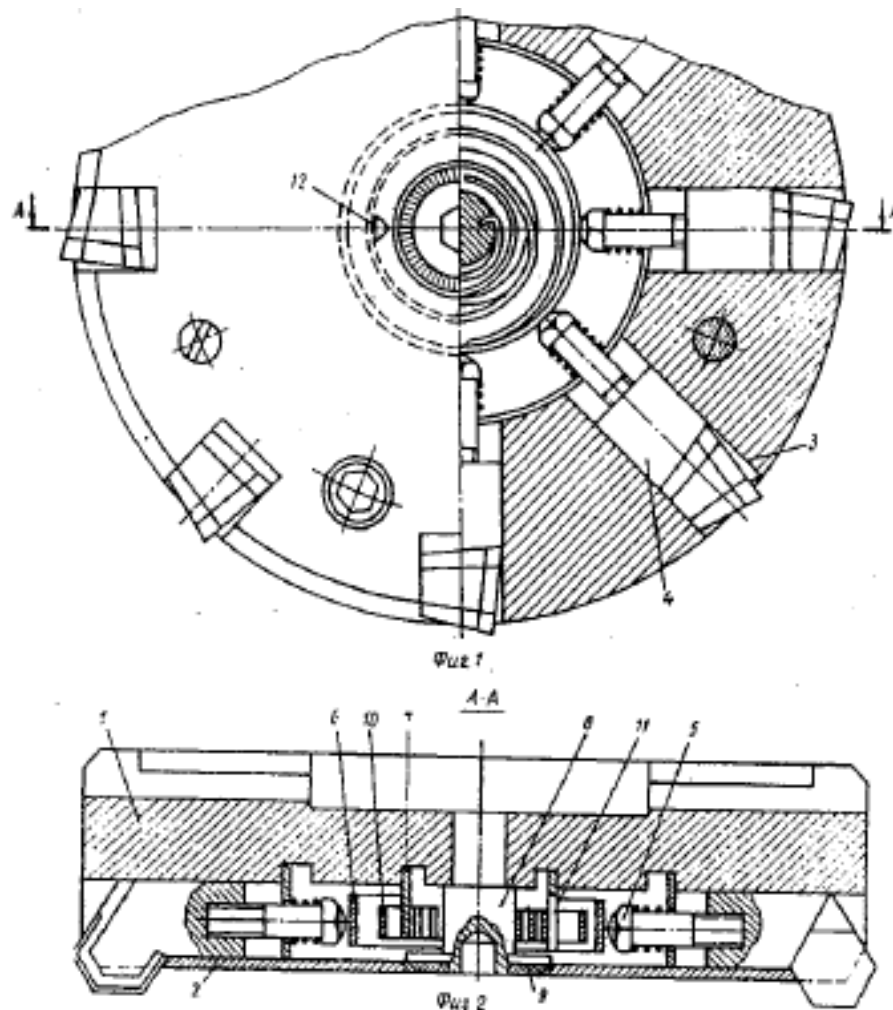


Рисунок 2.9 - Торцева фреза за а. с. 806293 МКИ В 23 С 5/06

Демпфуючий пристрій запропонованої фрези, виконано у вигляді встановлених в корпусі кільця, касети та поворотної вісі, а в касеті поміщено пружину, що проходить через отвір, виконаний в її стінці, і закріплена одним кінцем на поворотній вісі, а іншим - на кільці.

Торцева фреза має роз'ємний корпус, що складається з основи 1 та кришки 2. В радіальних пазах 3 корпусу розташовані рухомі ножі 4, оснащені регульованими упорами 5. Демпфуючий пристрій має кільце 6, жорстко закріплену в корпусі касету 7, поворотну вісь 8, встановлену в основі 1 та оснащену лімбом 9, та плоску спіральну пружину 10. Пружина 10 проходить через щілину 11 в касеті 7 і закріплена одним кінцем на осі 8, а іншим - на кільці 6. В залежності від оброблюваного матеріалу, призначених режимів різання та параметрів оброблюваної поверхні проводиться регулювання демпфуючих властивостей фрези.

Схожого ефекту досягнуто і в конструкції [23] шляхом забезпечення саморегулювання радіального положення різальних ножів по величині сили різання безпосередньо в процесі роботи інструмента (рис. 2.10).

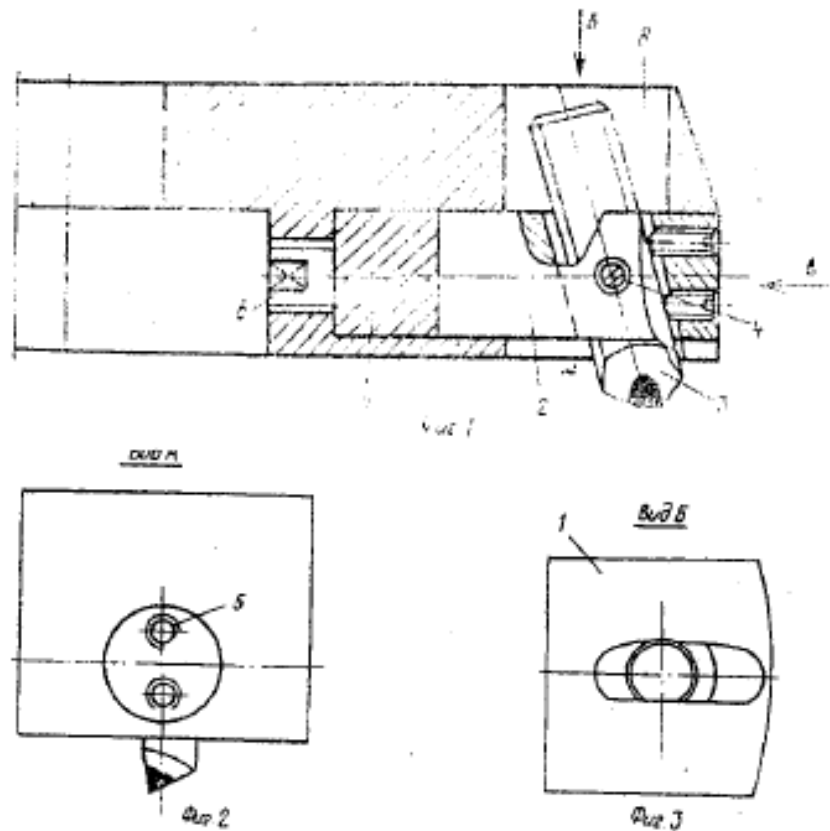


Рисунок 2.10 - Торцева фреза за а. с. 1161279 МКИ В 23 С 5/06

В корпусі 1 розташовані плунжери 2 з ножами 3, які утримуються в плунжерах закріплюючим гвинтом 4 та гвинтами 5. В радіальних отворах корпусу між регулюючими гвинтами 6 і плунжерами розміщені пружні елементи. В корпусі є пази 8, котрі ширші, ніж діаметри ножів. Дана конструкція від попередньої відрізняється тим, що тут демпфування забезпечується окремо для кожного різального вузла.

В наступній конструкції [24], в додаток до вищерозглянутої [23], забезпечується можливість адаптації фрези (рис. 2.11) до змінюваних умов різання за рахунок введення в конструкцію зворотного зв'язку між умовами різання ножа та розташуванням в корпусі фрези наступного різального ножа. В корпусі 1 розташовані основні плунжери 2 з ножами 3. Між регулюючими гвинтами 4 та основними плунжерами розташовані пружні елементи 5. Над

основними плунжерами розташовані додаткові плунжери 6 з пружними елементами 7, які з'єднані каналами 8 зв'язку з пружними елементами основних плунжерів. Канал зв'язку можна перекрити гвинтом 9.

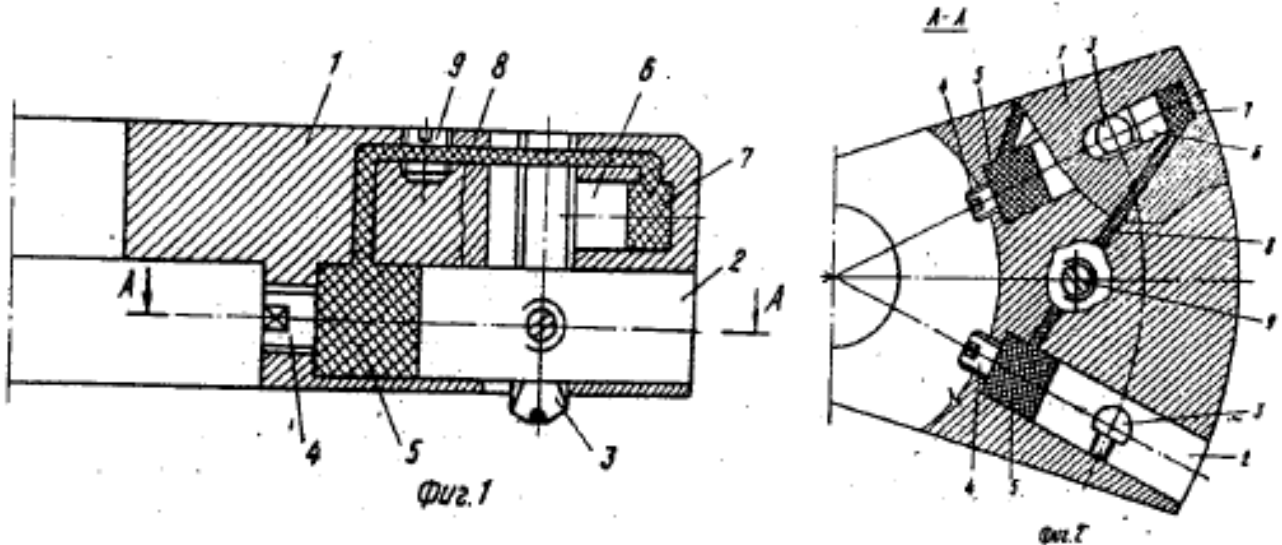


Рисунок 2.11 - Торцева фреза за а. с. 1235669 МКИ В 23 С 5/06

Як і у випадку з конструкціями попередньої групи 1-ої підгрупи, розглянуті конструкції фрез мають схильність до вібрацій, досить складні у виготовленні.

Конструкція фрези [25] (рис. 2.12), яка має корпус, в якому встановлені з можливістю радіального переміщення різальні ножі, що взаємодіють з плунжерами, оснащена гальмівними пристроями, що охоплюють плунжери.

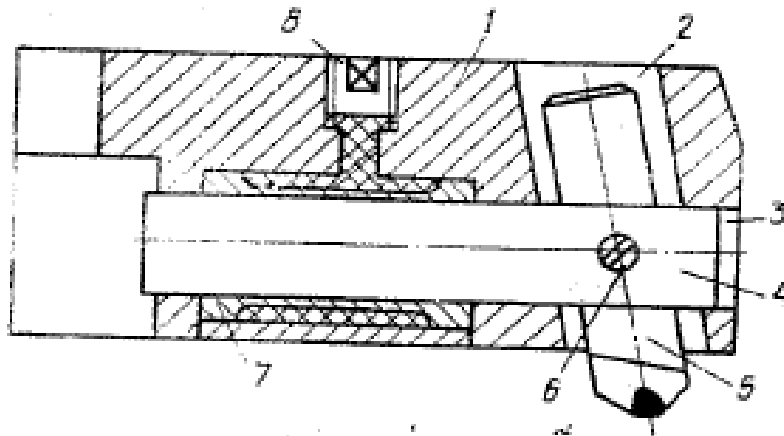


Рисунок 2.12 Торцева фреза за а. с. 1155375 МКИ В 23 С 5/06

Гальмівні пристрої виконані у вигляді тонкостінних втулок з робочими порожнинами які заповнені гідропластом, і оснащені регулюючими гвинтами.

В корпусі 1 з пазами 2 виконані радіальні отвори 3 з плунжерами 4. Циліндричні різальні ножі 5 з НТМ закріплені в плунжерах гвинтами 6. В корпусі розміщені гальмівні пристрої 7, що охоплюють плунжери 4. Для гальмівних пристроїв є загальний регулятор сили гальмування - гвинт 8. В даному випадку в якості прикладу гальмівного пристрою показана тонкостінна деформуюча втулка з робочою порожниною, що заповнена гідропластом. Гальмівним пристроєм можуть бути фрикційні втулки, електромагніти, колодки, цанги тощо. Завдяки такому конструктивному рішенню зникає можливість виникнення вібрацій.

З нерегульованою жорсткістю різальних ножів

В інструменті, представленому на рис. 2.13, збільшення стійкості фрези здійснюється шляхом зменшення сумарної довжини обробки.

Торцева фреза [26] складається з корпусу 1, в пазах 2 якого розташовані ножі 3. Ножі встановлені на направляючі штифти 4, які своєю різьбовою частиною вгвинчені в корпус за допомогою пружини 5. Ножі піджимаються в радіальному напрямку до поверхні профілю кулачка 6, встановленого співвісно з корпусом і виконаного у вигляді циліндра з плоскою паралельною до вісі лискою.

Кулачок прикріплений до нерухомої частини станка за допомогою хомута. Довжина плоскої лиски кулачка вибирається не менше, ніж ширина B оброблюваної поверхні 7. При передачі корпусу фрези і нолям обертального руху, останні ковзають по поверхні кулачка, описуючи своєю траєкторією його контур. Різання відбувається при проходженні ножами плоскої ділянки кулачка, тобто рухаються під час різання по прямій лінії, а не по дузі кола, в результаті чого відбувається скорочення довжини різання.

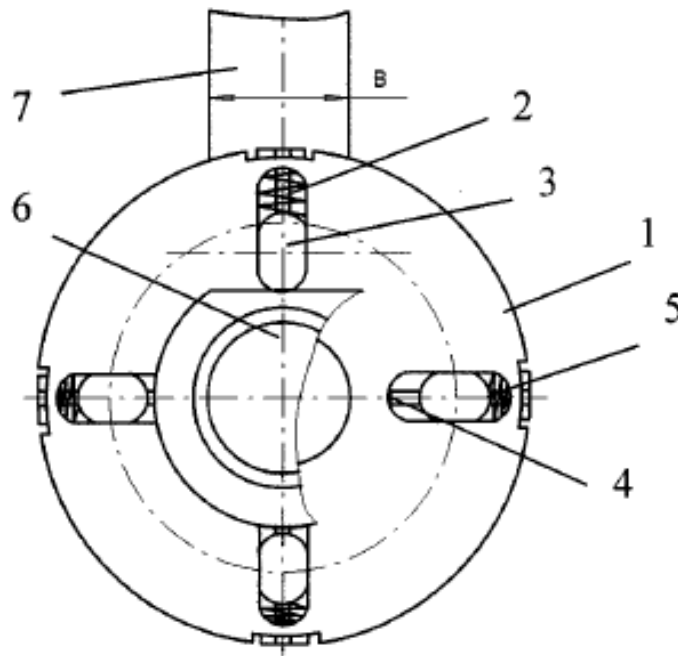


Рисунок 2.13 - Конструкція торцевої фрези по а. с. 1641523, МКИ В 23 С 5/06

В даному інструменті поєднані кінематичні рухи торцевої фрези та стругального різця. На шорсткість обробленої поверхні найбільший вплив має подача на зуб, а також зміна цієї подачі під час обробки. У даній конструкції подача на зуб є постійною величиною, що означає, що сили, що діють на різальний ніж, не зазнають змін. Це призводить до зменшення або усунення періодичних коливань, тобто вібрацій, і до покращення якості обробленої поверхні.

Недоліком таких конструкцій є розташування різальних ножів торцевої фрези на однаковому радіусі. Це збільшує вимоги до їх взаємного розташування, оскільки існуючі радіальні відхилення призводять до схем різання лише окремими ножами. Крім того, прямолінійна траєкторія різальних ножів призводить до різання з постійною товщиною зрізу, що може викликати удари при врізанні ножа, що негативно впливає на динаміку фрезерування.

Існують також конструкції торцевих фрез з різальними ножами, які можуть переміщатися в радіальному і осьовому напрямках під час обробки відносно корпусу фрези.

В фрезі [27] забезпечується демпфування зворотно-поступальних і обертальних коливань різальних ножів, запропонованої фрези (рис. 2.14), в напрямках, що відповідають шести ступеням свободи.

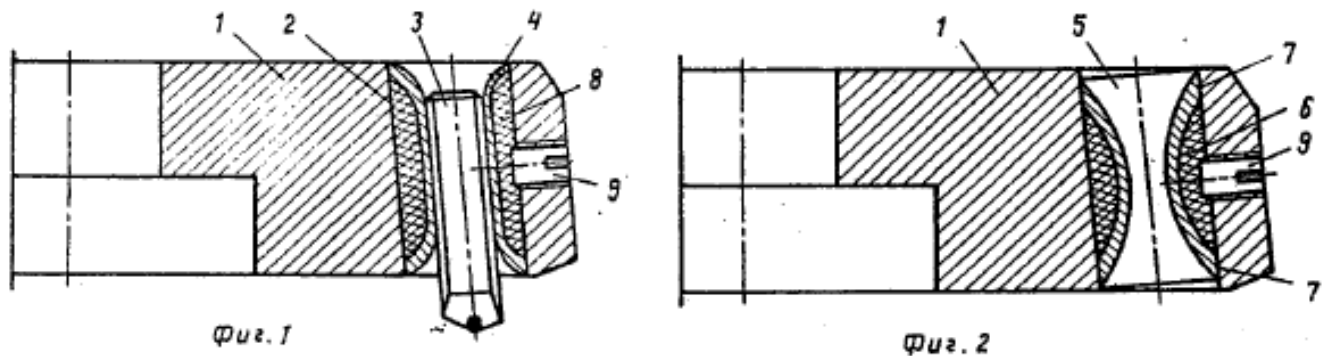


Рисунок 2.14 - Торцева фреза по а. с. 1214343 МКИ В 23 С 5/06

Фреза складається з корпусу 1, в отворах 2 якого встановлені різальні ножі 3. Різальні ножі фіксуються в проміжних елементах, виконаних у вигляді тонкостінних втулок 4. Внутрішні поверхні 5 втулок мають форму гіперболоїдів обертання, а зовнішні поверхні 6 мають по два циліндричних пояска 7, діаметри яких відповідають діаметру отворів корпусу, завдяки чому між зовнішніми поверхнями втулок і поверхнями отворів корпусу утворюються замкнуті порожнини, в яких розміщується пружний елемент 8. Замкнуті порожнини оснащені натискними гвинтами 9, якими можна діяти на пружні елементи з метою деформації тонкостінних втулок, що здійснюють закріплення різальних ножів.

Фреза за авторським свідоцтвом №1445870, яка є вдосконаленням попереднього винаходу [27], складається з корпусу 1, в ступінчастих отворах 2 якого встановлені гофровані тонкостінні втулки 3 з різальними ножами 4 (рис. 2.15).

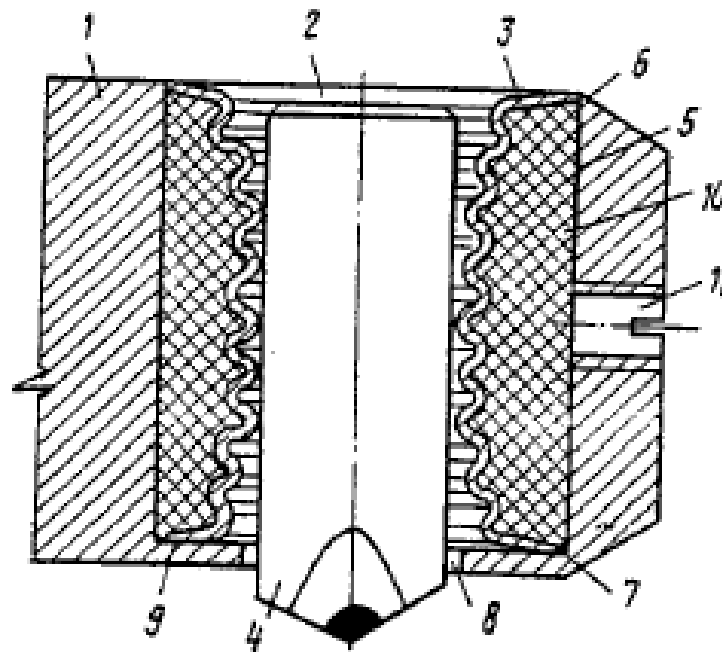


Рисунок 2.15 - Торцева фреза за а. с. 1445870 МКИВ 23 С 5/06

Втулки 3 мають циліндричні пояски 6 та 7 і встановлюються до упору в торець 9 ступені. Кріплення втулок 3 здійснюється зі сторони верхнього циліндричного пояска. Утворена отвором корпусу та тонкостінною гофрованою втулкою порожнина 10 заповнюється пружним середовищем. Для закріплення різальних ножів фреза оснащена гвинтом 11, що взаємодіє з пружним середовищем в замкненій порожнині.

Головним недолік вище зазначених конструкцій різальних вузлів є їх схильність до виникнення вібрацій. Окрім цього, різальні вузли отримують

здатність відхилятися та перекошуватися в довільному напрямку, що призводить до зміни глибини різання і до погіршення якості обробки.

Конструкції, в яких різальні ножі торцевих фрез нерухомі в процесі обробки, а також конструкції, в яких різальні ножі рухаються в процесі обробки, причому для останніх рух різальних ножів здійснюється за допомогою регулюючих пристроїв, що здійснюють зворотний зв'язок узагальнені на рис.2.16.

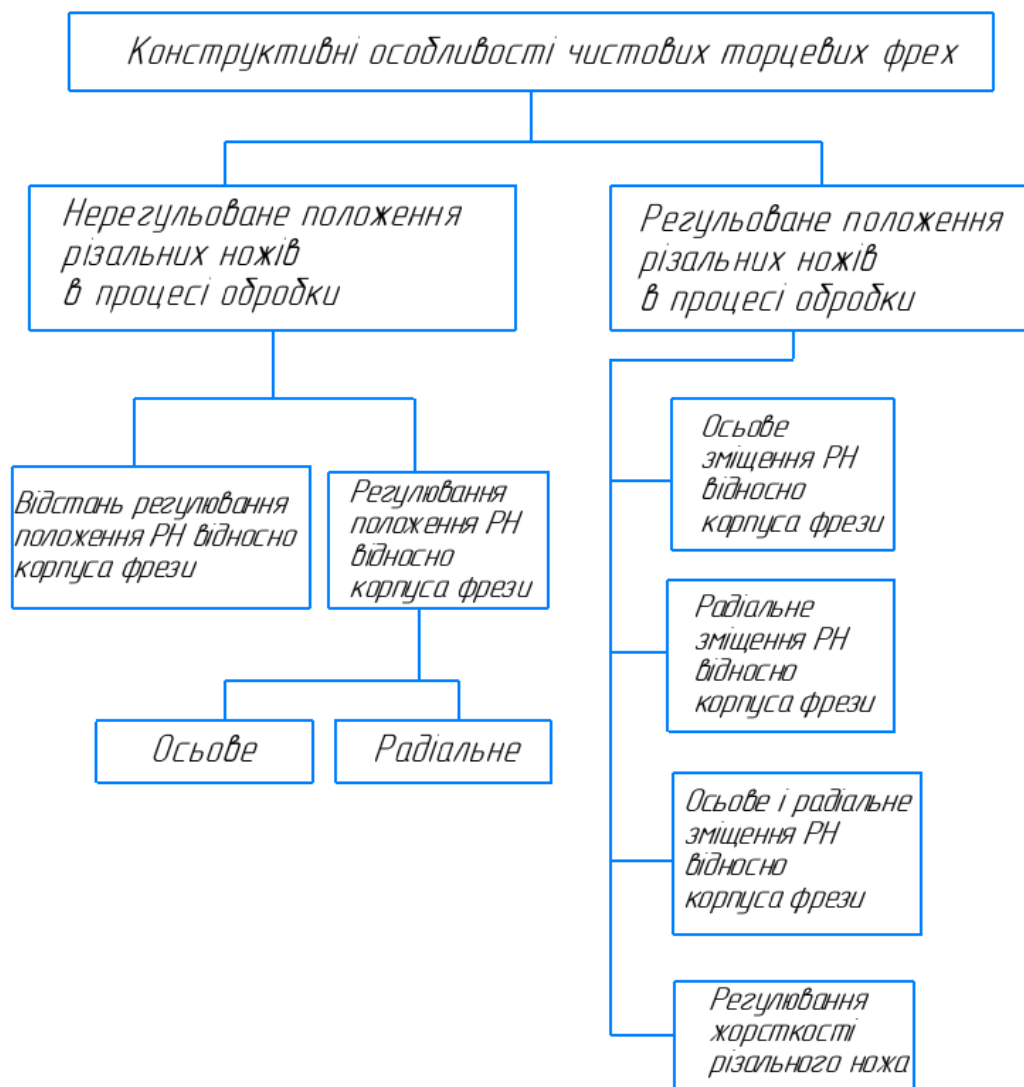


Рисунок 2. 16 - Конструктивні особливості чистових торцевих фрез

Підвищення продуктивності та якості обробки чистовими торцевими фрезами з нерухомими в процесі обробки відносно корпусу різальними ножами досягається [28, 29]:

1) збільшенням можливого числа РН при зменшенні габаритів механізмів їх кріплення та регулювання, а також підвищення надійності фіксації РН у корпусі фрези [17, 18];

2) перерозподіленням подач на S_1 - для чорнових та S_2 - для чистових РН, де $S_1 > S_2$, що забезпечує менше навантаження чистових РН [19];

3) забезпеченням одночасного регулювання кутів у плані та осевого вильоту РН [20];

4) використанням фрезерування торцевими фрезами з НТМ, для яких відмічається малий розмірний знос і висока стійкість інструмента.

Недоліком таких конструкцій є те, що за рахунок існуючих похибок базування та закріплення фрез і заготовок виникають похибки розташування РН фрез відносно координатних осей верстата. Це призводить до нерівномірного навантаження різальних ножів, сприяє їх підвищеному зношуванню і не дає можливості забезпечити необхідної якості обробки.

Розглянуті конструкції торцевих фрез реалізують кругову траєкторію контакту різального ножа фрези із заготовкою. Процес різання чистовими торцевими фрезами із рухомими різальними ножами в процесі обробки визначається наступними чинниками:

1. Коливаннями товщини зрізу вздовж контактної лінії різального ножа фрези з заготовкою.
2. Зміною кількості різальних ножів торцевої фрези, які беруть участь в процесі різання.
3. Неперервністю обробки.

Введення торцевої фрези в металеву заготовку є періодичним процесом, що супроводжується ударами, що може викликати збільшений знос і високий

ступінь і викришення різальної кромки, а також створювати несприятливі умови для функціонування верстата.

2.3 Вибір раціональної схеми розташування різальних ножів чистових косокутних торцевих фрез

В ряді робіт [3, 11, 30, 31] було доведено перспективність використання фрез зі спірально-ступінчастою схемою розташування ножів з косокутною без вершинною геометрією різальних частин для чистової обробки сталей і чавунних деталей.

За використання спірально-ступінчастої схеми розташування ножів фрези відбувається в радіальному напрямку на різній відстані від осі фрези (по евольвенті, логарифмічній або архімедовій спіралі), а в осьовому напрямку - ступенями з змінним значенням вильоту. Така схема розподіляє зняття припуску за подачею та глибиною, що зменшує вимоги до точності взаємного розташування різальних ножів і забезпечує участь всіх ножів в процесі різання. Зменшення припуску для кожної ступені дозволяє налаштувати необхідну геометрію різальних ножів і досягти вищої якості обробки.

Автори у [11] визначили найбільш оптимальні схеми розташування ножів як для періоду постійного різання, так і для періодів входу та виходу фрези з заготовки. Розв'язання цієї задачі буде проводитися шляхом визначення кількості ножів, які беруть участь у фрезеруванні. Досліджено, що для діаметрів фрез більше 266 мм найбільш оптимальними з точки зору стабільності фрезерування є схеми розташування ножів фрези за логарифмічною спіраллю і евольвентою. При оптимізації середнього числа ножів, які здійснюють різання протягом періоду

сталого різання, рекомендується обирати логарифмічну спіраль для розташування ножів.

2.4 Шорсткість поверхонь оброблених чистовими торцевими фрезами

Шорсткість обробки при торцевому фрезеруванні розглядається в двох напрямках: повздовжньому (в напрямку різання) і поперечному. Шорсткість в поперечному напрямку має регулярний характер. При цьому форма і висота мікронерівностей можуть бути розраховані наступним чином.

Розрахункова висота мікронерівностей при обробці торцевою фрезою [32]:

$$Rz_{\text{розрах}} = \frac{S_z \sin \varphi \sin \varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)} \quad (2.3)$$

де S_z - подача на зуб, φ , φ_1 - кути ножа в плані.

Спрощена формула у випадку, коли поверхню формує лише вершинна різальна кромка з радіусом округлення r має вигляд [33]:

$$Rz_{\text{розрах}} = \frac{S_z^2}{8r} \quad (2.4)$$

Дослідженнями встановлено, що дійсна висота мікронерівностей значною мірою відрізняється від теоретичної, розрахункової шорсткості і визначається за формулою [3]:

$$Rz = Rz_{\text{розрах}} + \Delta Rz + \Delta Rz_{\text{в}} + \Delta R_{\Sigma} \quad (2.5)$$

де $Rz_{\text{розрах}}$ - розрахункова висота мікронерівностей;

ΔRz - складова, яка враховує вплив фізико-механічних явищ при різанні;

ΔR_{z_6} - складова, яка враховує вплив динамічних явищ при різанні;

ΔR_{Σ} - складова, яка враховує вплив похибок технологічної системи:

$$\Delta R_{\Sigma} = \Delta_{уст} + \Delta_{пр} + \Delta_{фр} + \Delta_{ел} + \Delta_{геом} + \Delta_{кін} + \Delta_{дин} \quad (2.6)$$

де $\Delta_{уст}$, $\Delta_{пр}$ - зміна висоти мікронерівностей за рахунок похибок установки та закріплення заготовки на верстаті та нерівномірності припуску заготовки;

$\Delta_{фр}$, $\Delta_{ел}$ - зміна висоти мікронерівностей за рахунок похибок установки і закріплення фрези на верстаті та взаємного розташування РН фрези;

$\Delta_{геом}$, $\Delta_{кін}$, $\Delta_{дин}$ – зміна висоти мікронерівностей за рахунок похибок та мінливості геометричних, кінематичних та динамічних параметрів верстата.

Результати експериментальних досліджень проведених в роботі [3] свідчать, що шорсткість оброблених торцевим фрезеруванням поверхонь змінюється по ширині заготовки: мінімальна - в точках входу і виходу ножа в зону різання, максимальна - при миттєвому куті контакту різального ножа з заготовкою, дорівнюючому 90° .

Чистова обробка плоских поверхонь деталей з вимогами до шорсткості в межах $Ra = 0,62 - 1,6$ мкм пред'являє високі вимоги до геометрії різальних ножів торцевих фрез.

2.5 Вплив геометрії різальних ножів торцевих фрез на шорсткість обробки

В роботах [16, 34, 35] визначається, що із геометричних параметрів різальної частини інструменту найбільше впливає на шорсткість поверхні головний кут в плані φ та ширина або радіус перехідної (калібруючої) різальної

кромки. При збільшенні кута φ від 15° до 30° параметр Ra зростає незначно, так як на ряду з підвищенням розрахункової висоти мікронерівностей в цьому діапазоні його значень суттєво зростає товщина зрізу, що приводить до зменшення міри пластичного деформування металу. При $\varphi > 30^\circ$ переважає його геометричний вплив зв'язку з чим шорсткість поверхні зростає більш інтенсивно.

Формоутворюючими елементами різальних ножів чистових торцевих фрез є: головна, допоміжна і перехідна (калібруюча) кромки. В сучасних конструкціях фрез використовуються РН з прямолінійною і радіусною калібруючою кромкою.

Із досліджуваних характеристик особливу увагу приділяють формі вершини різального ножа [36]. Прямолінійна калібруюча кромка дозволяє отримати високу якість оброблюваної поверхні. Однак, при роботі інструментами, що мають прямолінійну калібруючу кромку, спостерігається дуже швидка поява на її поверхні мікротріщин та мікросколів, що значно погіршують шорсткість оброблюваної поверхні (рис. 2.17).

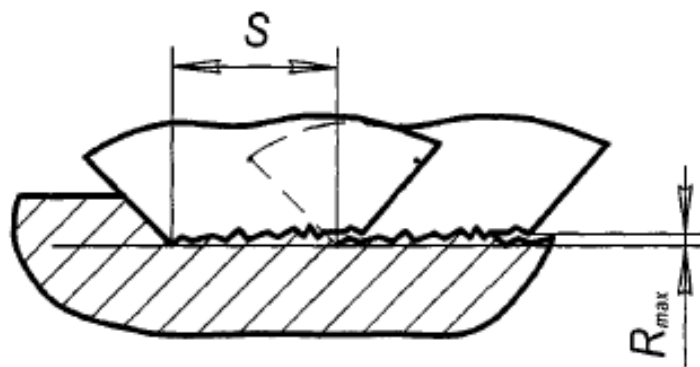


Рисунок 2.17 - Похибки форми прямолінійної калібруючої різальної кромки

Значно більшу стійкість практично при тих же параметрах шорсткості забезпечують різальні ножі, які мають радіус при вершині інструменту. При використанні інструменту з перехідною різальною кромкою, що паралельна обробленій поверхні, шорсткість знижується більш чим в два рази. Шорсткість

обробленої поверхні залежить від довжини калібруючої кромки на ножі та її перпендикулярності до осі фрези (рис. 2.18).

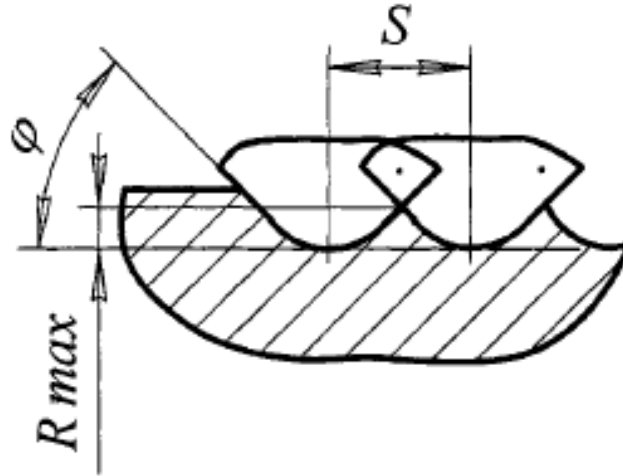


Рисунок 2.18 - Застосування радіусної форми калібруючої різальної кромки

Для зниження шорсткості обробленої поверхні довжину калібруючої кромки рекомендують [36] збільшувати. Але це призводить до збільшення сили різання та посилення вібрації фрези. Тому довжину калібруючої кромки приймають не менше $(2,5-4) S_0$, де S_0 мм - подача на оберт фрези.

Кінематичний аналіз дозволяє встановити, що шорсткість обробки є функцією однією із складових якої є кутова похибка розташування калібруючої кромки.

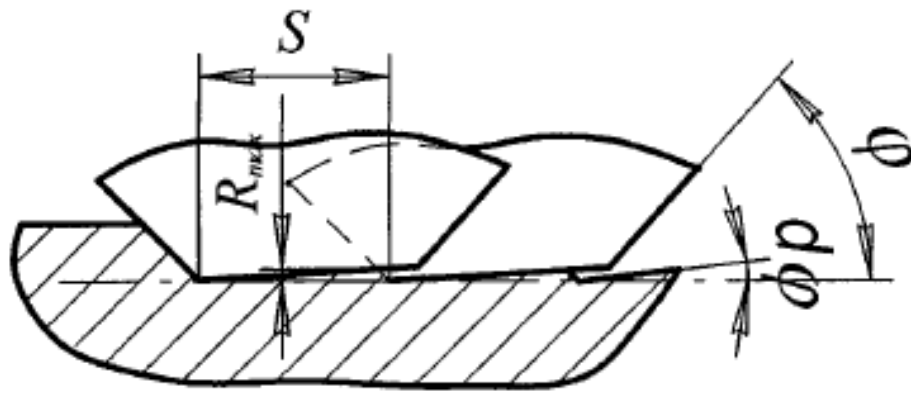


Рисунок 2.19 - Похибка розташування прямолінійної калібруючої кромки

Для багатоножевої схеми формування поверхні похибка розташування калібруючих кромок відносно площини залежить від суми похибок: геометричної похибки розташування відповідних точок калібруючих кромок відносно базових поверхонь фрези, похибки встановлення фрези на шпинделі верстату та геометричні похибки шпинделя. Отримання поверхні з шорсткістю не більше 3 - 6 мкм, технологічно неможливо без корегування інструменту відносно шпинделя верстату [37].

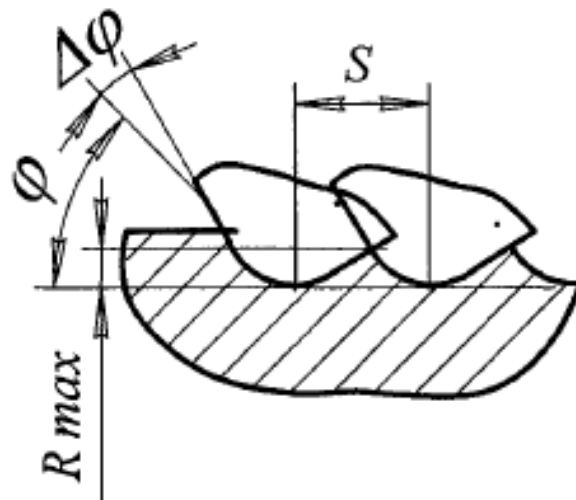


Рисунок 2.20 - Похибка розташування радіусної калібруючої кромки

Величина заднього кута a не суттєво впливає на шорсткість поверхні: при його збільшенні від 5 до 20° параметр Ra зростає від $0,5$ до $0,9$ мкм при фрезеруванні високоміцного чавуну та від $0,4$ до $0,6$ мкм при обробці загартованої сталі. При $a > 12^\circ$ кут загострення різального ножа зменшується, внаслідок чого відбувається послаблення різальної кромки, на поверхні якої інтенсифікується процес утворення мікротріщин, виривів та сколів, що є причиною зростання шорсткості та зниження стійкості інструменту. Найменша висота мікронерівностей обробленої поверхні досягається при $a = 5-12^\circ$ [37].

Для досягнення оптимальної шорсткості обробки рекомендовані [3] значення величини переднього кута $\gamma = -3 -1 0^\circ$ при обробці торцевим фрезеруванням деталей із чавунів і загартованих сталей.

За даними [38, 39, 40] експлуатаційні властивості деталей машин, такі як: зносостійкість, корозійна стійкість, жорсткість, точність визначаються параметрами механічних властивостей матеріалу поверхневого шару, макро- і мікрогеометрії обробленої поверхні.

2.6 Вплив мікрогеометрії обробленої поверхні на експлуатаційні властивості деталей машин

Відомо [38], що при пружному контакті для металів при змащенні поверхонь тертя і при температурі до 100°C інтенсивність зносу визначається ступенем пологості опорної кривої профілю β_R і деформаційним показником γ_R :

$$\beta_R = \frac{1}{2\nu+1} \quad (2.7)$$

де ν - параметр, який знаходиться при апроксимації початкової ділянки опорної кривої профілю степеневою функцією виду [39]:

$$t_p(x) = bx^\nu \quad (2.8)$$

де t_p - опорний коефіцієнт - міра довжини опорної поверхні, виражена у відсотковому відношенні від базової довжини, де виступи профілю зрізані до лінії, яка паралельна до середньої лінії профілю.

$$\gamma_R = \frac{R_{max}}{R_{ku}} \quad (2.9)$$

де R_{ku} - радіус кривизни відхилень профілю вздовж середньої лінії.

Встановлено [39], що вплив нерівностей поверхні на корозійну стійкість деталей можна оцінити коефіцієнтом концентрації напруг α_R :

$$\alpha_R = b * \left(\frac{Ra}{R_{max}} \right)^\mu * \frac{R_p}{R_v} \quad (2.10)$$

де Ra - середнє арифметичне відхилення профілю, R_{max} - максимальне висота виступу (до западини профілю в межах базової довжини), R_p – максимальна висота нерівностей профілю вище середньої лінії, R_v - максимальна глибина западини профілю нижче середньої лінії.

В роботі [39] показано, що аеро- і гідроопір поверхонь металевих деталей залежить від нерівностей профілю і тангенса кута нахилу бокової сторони профілю θ_R :

$$\theta_R = tg(\Delta q) \quad (2.11)$$

де Δq - середній нахил профілю на базовій довжині.

Визначення експлуатаційних характеристик оброблених поверхонь через показники мікрогеометрії надає можливість для раціонального вибору геометрії різальної частини ножів, конструкції ступінчастих чистових торцевих фрез, оснащених НТМ, режимів різання.

В роботах [13, 41] досліджено вплив шорсткості і напрямку ковзання пар тертя по відношенню до направлення фінішної обробки на коефіцієнт тертя в умовах різних змащень. Експерименти показали, що напрямок ковзання значно впливає на коефіцієнт тертя, що пояснюється різницею в шорсткості в повздовжньому і поперечному напрямках. При ковзанні в напрямку штрихів обробки погіршуються умови змащення і, таким чином, підвищується коефіцієнт тертя.

Існуючі похибки верстатів, на яких виконується обробка торцевими фрезами, оснащеними НТМ, у ряді випадків не дозволяють отримати необхідну якість обробки.

3 АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ТОРЦЕВИМИ ФРЕЗАМИ З КОМБІНОВАНИМИ СХЕМАМИ РІЗАННЯ

3.1 Комбінована схема різання з регулюванням положення профілюючого різального ножа

Проаналізуємо відомі схеми різання чистових торцевих фрез, оснащених НТМ.

Аналіз існуючих конструкцій чистових торцевих фрез, оснащених НТМ, показує, що формоутворюючими рухами є обертання фрези навколо осі та прямолінійно-поступальний рух заготовки [2, 10, 16, 34, 42, 43,]. При цьому ножі закріплені нерухомо відносно корпусу фрези. Це зумовлює змінну шорсткість обробленої поверхні по ширині фрезерування, тобто в напрямку перпендикулярному до вектору повздовжньої подачі заготовки і колову траєкторію штрихів обробки.

Траєкторія руху ножів існуючих конструкцій торцевих фрез відносно заготовки представлена на рис. 3.1.

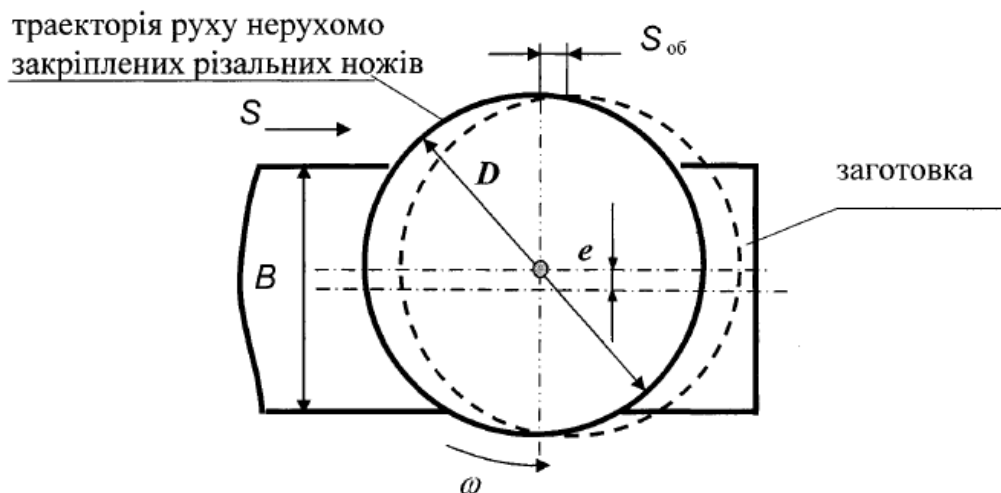


Рисунок 3.1 - Траєкторія руху ножів існуючих конструкцій торцевих фрез
відносно заготовки

Формування перерізу зрізу при цьому відбувається наступним чином (рис.3.2):

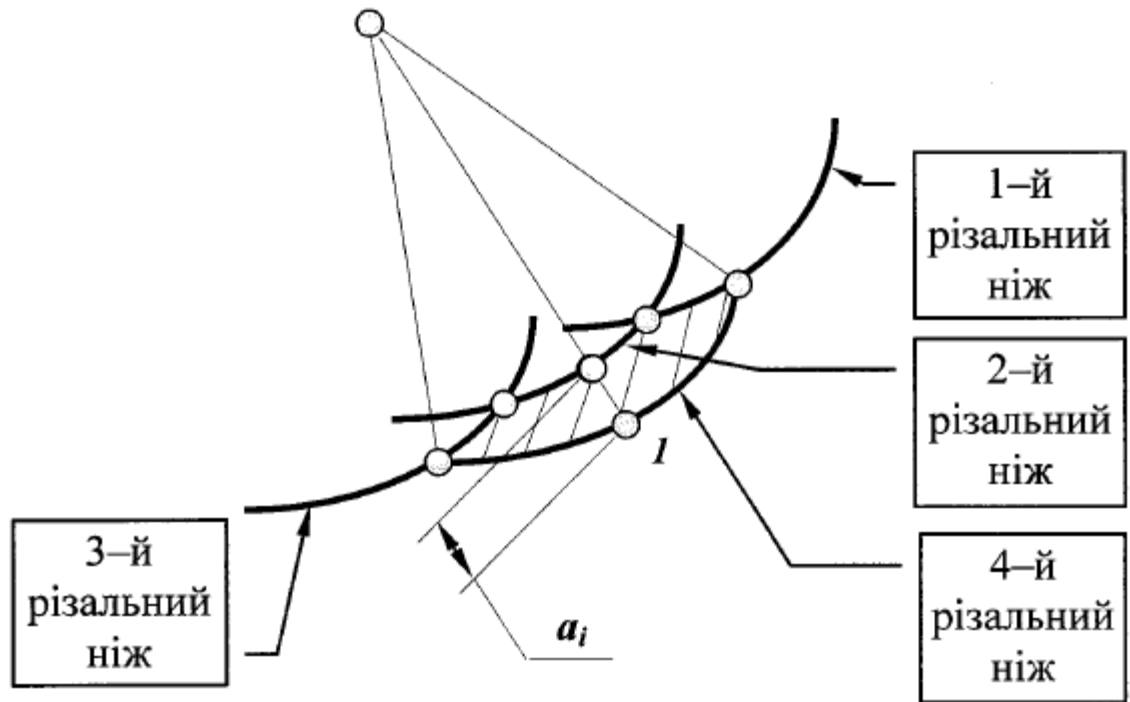


Рисунок 3.2 - Схема різання при торцевому фрезеруванні різальними ножами з радіусними профілюючими кромками при $\psi = 90^\circ$

Перевагою застосування ступінчастих схем різання є можливість використання різної геометрії різальних ножів та різних формоутворюючих рухів: нерухомо закріплених ножів за коловою траєкторією, рухомих — за прямолінійною, перпендикулярною до вектора повздовжньої подачі заготовки.

Перспективним є удосконалення схеми плоского фрезерування торцевими фрезами шляхом зняття припуску різальними ножами, де найбільшу частину припуску видаляють різальними ножами, які нерухомо закріплені відносно корпусу фрези, який рухається за коловою траєкторією, після чого чистовий припуск видаляють різальними ножами, які розташовані в радіальному напрямку на найменшій відстані від осі фрези з найбільшим вильотом відносно нерухомо

закріплених різальних ножів і рухаються за прямолінійною траєкторією перпендикулярною до вектора повздовжньої подачі заготовки, що забезпечить підвищення якості обробки в напрямку перпендикулярному до вектора повздовжньої подачі заготовки та збільшення продуктивності обробки при використанні запропонованої комбінованої схеми різання (рис. 3.3).

Саме зняття чистового припуску різальними ножами, які розташовані в радіальному напрямку на найменшій відстані від осі фрези з найбільшим вильотом відносно нерухомо закріплених різальних ножів і рухаються за прямолінійною траєкторією перпендикулярно до вектора подачі, дозволяє формувати стабільну висоту мікронерівностей обробленої поверхні за шириною фрезерування в напрямку перпендикулярному до вектора повздовжньої подачі заготовки.

Збільшення кількості різальних ножів, що одночасно приймають участь в обробці збільшує продуктивність обробки.

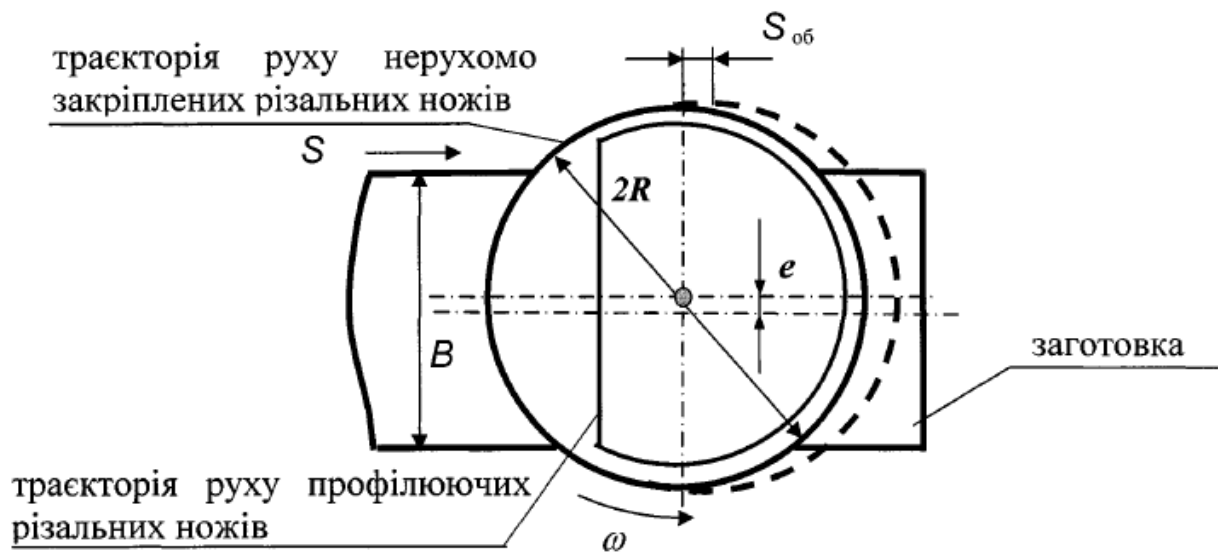


Рисунок 3.3 - Запропоновані траєкторії руху різальних ножів торцевої фрези відносно заготовки

Схема зрізання припуску чистовою торцевою фрезою з комбінуванням (рис. 3.4):

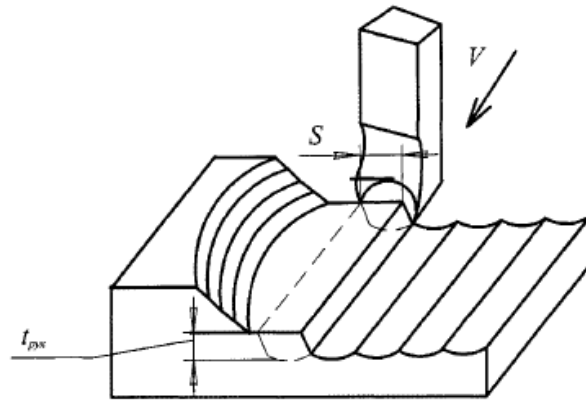


Рисунок 3.4 - Схема зрізання припуску інструментом з комбінованою схемою різання

Запропонована комбінована схема різання чистовою косокутною торцевою фрезою з радіусними профілюючими кромками приведена на рис. 3.5.

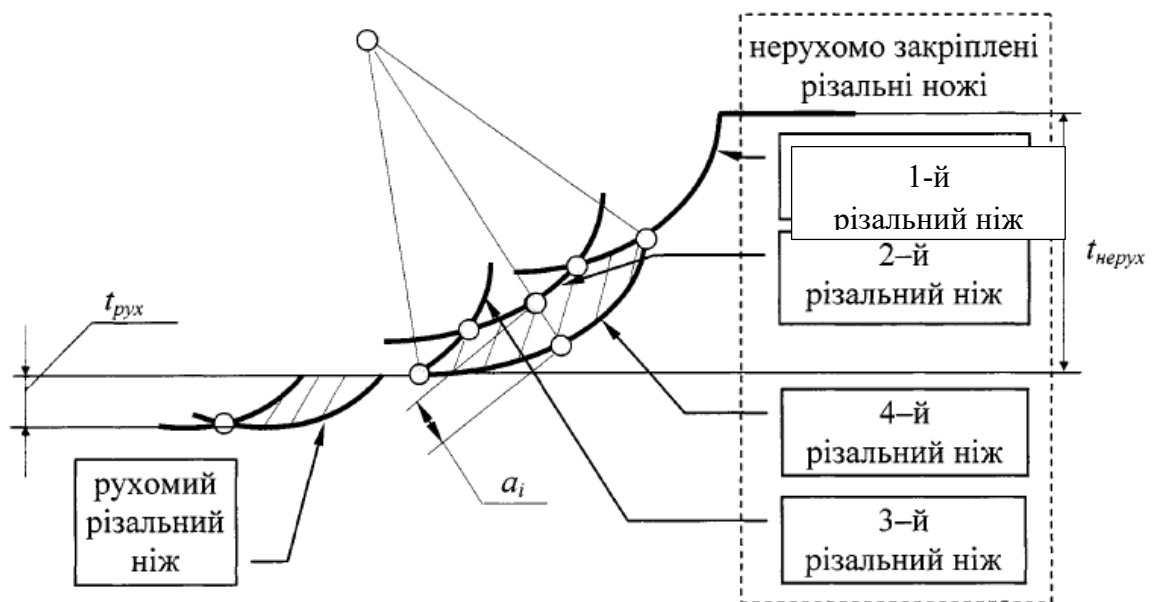


Рисунок 3.5 - Запропонована комбінована схема різання ножів з радіусними профілюючими кромками в напрямку паралельному подачі заготовки

При чистовій обробці торцевими косокутними фрезами, оснащеними НТМ, виникає необхідність аналізу основних характеристик процесу обробки. Відмінність їх кінематичних параметрів вимагає виконання силового аналізу.

3.2 Аналіз силових факторів фрезерування торцевими фрезами з комбінованою схемою різання

Перемінність сумарного перерізу зрізу при торцевому фрезеруванні викликає періодичне змінювання складових сили різання (рис. 3.6), які призводять до виникнення в технологічній системі верстата вимушених коливань, які погіршують якість обробки, знижують продуктивність та зменшують стійкість інструменту.

В зв'язку з цим виникає необхідність розрахунку характеру зміни складових сили різання для управління ними та визначення умов обробки, при яких забезпечується умови рівномірного фрезерування. Розрахунок характеру зміни складових сили різання за один оберт фрези заключається в сумуванні миттєвих сил, які виникають на кожному ножі, що знаходиться в різанні. Миттєві сили різання, які входять до сумарної сили різання, визначаються по емпіричним залежностям складових сили різання від параметрів режиму різання.

Для ступінчастих фрез з використанням різальних ножів із задніми циліндричними поверхнями миттєві складові сили різання будуть дорівнювати [66, 67]:

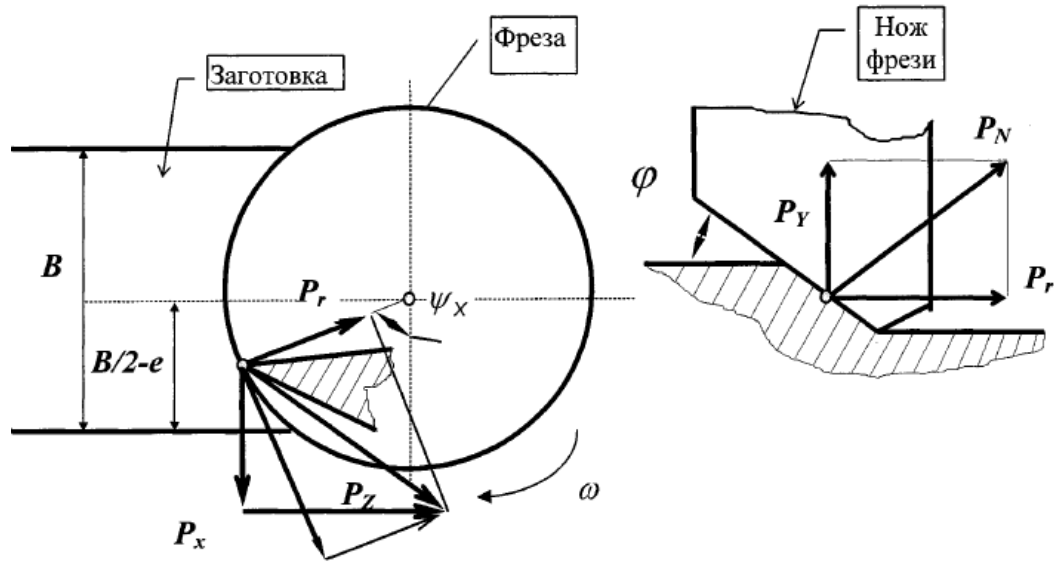


Рисунок 3.6 - Схема дії складових сили різання на різальний ніж в процесі торцевого фрезерування

$$\sum_1^m P_k = 0,28 S_k \left\{ S_z t_p K_2 \sum_1^m \sin \psi + m l (\delta_0 + \delta) \right\} \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} \sum_1^m P_s = 0,28 S_k \left\{ S_z t_p K_2 \right\} & \left[\operatorname{tg}(\eta - \gamma) \sin(\varphi - \beta) \sum_1^m \sin^2 \psi \pm 0,5 \sum_1^m \sin 2\psi \right] + \\ & + l_p (\delta_0 + \delta) \left(\frac{1}{f} \sin \varphi_{cep} \sum_1^m \sin \psi \pm \sum_1^m \cos \psi \right) \}. \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} \sum_1^m P_a = 0,28 S_k \left\{ S_z t_p K_2 \operatorname{tg}(\eta - \gamma) \cos(\varphi - \beta) \sum_1^m \sin^2 \psi + \right. \\ \left. + l_p (\delta_0 + \delta) \frac{1}{f} \cos \varphi_{cep} \sum_1^m \sin \psi \right\}. \end{aligned} \quad (3.3)$$

де S_k - напруга при розриві, ГПа;

S_z - подача на зуб фрези, мм/зуб;

t_p – глибина різання, мм;

K_2 - безрозмірний комплекс;

m - кількість ножів, що приймають участь в різанні;

ψ - миттєвий кут контакту різального ножа з заготовкою;

η - кут тертя;

γ - передній кут інструмента;

φ - головний кут в плані; β - кут

загострення;

l - сумарна довжина робочих ділянок різальних кромок;

δ – ширина фаски зносу по задній поверхні;

δ_0 - ширина контакту фаски зносу по задній поверхні;

$\varphi_{сер}$ - середній кут в плані,

f - коефіцієнт тертя.

Для визначення кількості ножів, що приймають участь в різанні, пропонується наступна схема (рис. 3.7):

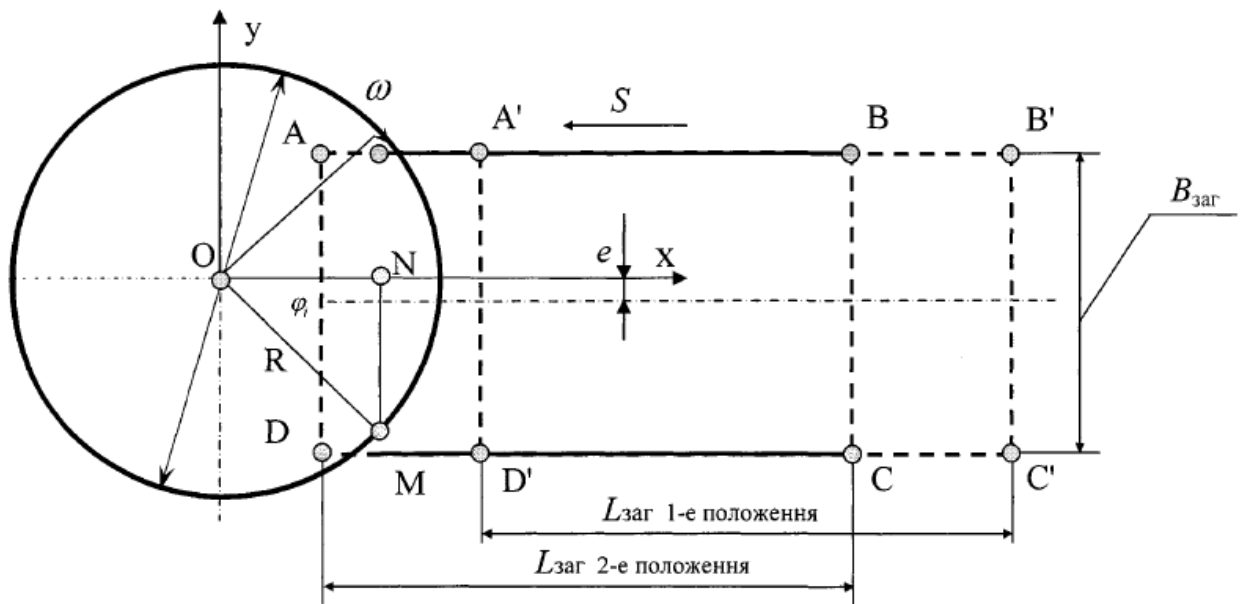


Рисунок 3.7 - Схема визначення кількості ножів, які приймають участь в різанні при торцевому фрезеруванні

Для визначення кількості ножів, що приймають участь в різанні, розроблена програма, яка дозволяє розрахувати складові сили різання при любых схемах обробки та любых варіантах розміщення ножів у корпусі торцевих фрез.

На рис. 3.7 т. A', B', C', D' - характерні точки заготовки в початковий момент часу з координатами $(X'_A, Y'_A), (X'_B, Y'_B), (X'_C, Y'_C), (X'_D, Y'_D)$.

Нехай заданий масив координат ножів фрези (R_i, φ_i) відносно центра координат точки O .

При обертанні фрези з кутовою швидкістю ω координати ножів фрези в момент часу t .

$$X_i(\tau) = R * \cos(\omega\tau + \varphi_i); \quad Y_i(\tau) = R * \sin(\omega\tau + \varphi_i)$$

При поступовому русі заготовки вздовж напрямку осі обертання зі швидкістю V координати характерних точок в момент часу τ будуть:

$$\begin{aligned} X_A &= X_{A'} - v\tau; & Y_A &= Y_{A'} - v\tau; \\ X_B &= X_{B'} - v\tau; & Y_B &= Y_{B'} - v\tau; \\ X_C &= X_{C'} - v\tau; & Y_C &= Y_{C'} - v\tau; \\ X_D &= X_{D'} - v\tau; & Y_D &= Y_{D'} - v\tau; \end{aligned}$$

Для встановлення кількості ножів, що приймають участь в різанні, необхідно для кожної точки (X_i, Y_i) масиву координат ножів встановити належність до площі прямокутника $ABCD$ в момент часу τ .

Рівняння прямої в загальному вигляді: $y = kx + b$.

Отримаємо коефіцієнти k і b для прямих AB і CD :

- для AB : $k_1=0$; $b_1 = Y_A - e$;
- для DC : $k_2=0$; $b_2 = Y_D - e$;

де e - зміщення фрези відносно осі симетрії деталі.

В точці фрези (X_i, Y_i) проводимо нормаль до AB і CD .

Рівняння цієї нормалі: $x_i = X_i$.

Аналогічно визначаємо k_3, b_3 для AD і k_4, b_4 для BC і рівняння нормалі до них в точці з координатами (X_i, Y_i) , тобто k_{i2} і b_{i2} .

Якщо $b_{il} \in [b_3; b_4]$, $b_{il} \in [b_1; b_2]$ та $X_i > 0$, то ніж фрези бере участь у різанні. Перевіривши цю умову для кожного ножа фрези, отримаємо сумарне число ножів, що приймають участь в різанні в момент часу τ .

3.2.1 Визначення коефіцієнтів нерівномірності фрезерування

Критерієм оптимальної кількості ступеней торцевої фрези рекомендовано обирати коефіцієнт нерівномірності фрезерування.

Для колової складової сили різання P_k значення коефіцієнту нерівномірності дорівнює:

$$\mu = \frac{P_{k \max}}{P_{k \text{сер}}} \quad (3.4)$$

Для вищенаведеного режиму різання розраховані значення $P_{k \max}$, $P_{k \text{сер}}$, μ та наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Коефіцієнт нестабільності фрезерування μ для одно- та багатоступінчастих фрез

№ з/п	Схема різання	$P_{k \max}$, Н	$P_{k \text{сер}}$, Н	μ
1.	одноступінчаста	144,06	94,483	1,524
2.	трьохступінчаста	48,022	32,698	1,468
3.	дев'яноступінчаста	16,008	11,311	1,415

Найменші значення коефіцієнта досягаються при збільшенні кількості ступеней фрези. Для дев'ятиступінчастої конструкції $\mu = 1,415$.

За розробленою програмою розраховані коефіцієнти нерівномірності фрезерування для дев'ятиступінчастої торцевої фрези при змінних режимах різання.

3.2.2 Визначення впливу режиму різання на рівномірність фрезерування

Результати вищенаведених розрахунків показують наступне:

2) при збільшенні обертів шпинделя для дев'ятиступінчастої конструкції торцевої фрези вдвічі (до $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$) потужність основної гармоніки складової сили різання P_k збільшується лише у 1.1 рази;

3) збільшення вдвічі подачі на оберт до $S_{об} = 0,8 \text{ мм/об}$ призводить до збільшення вдвічі максимального значення колової складової сили різання P_k ($P_{k \max} = 32,01 \text{ Н}$) і потужності основної гармоніки P_k – у 1,8 рази;

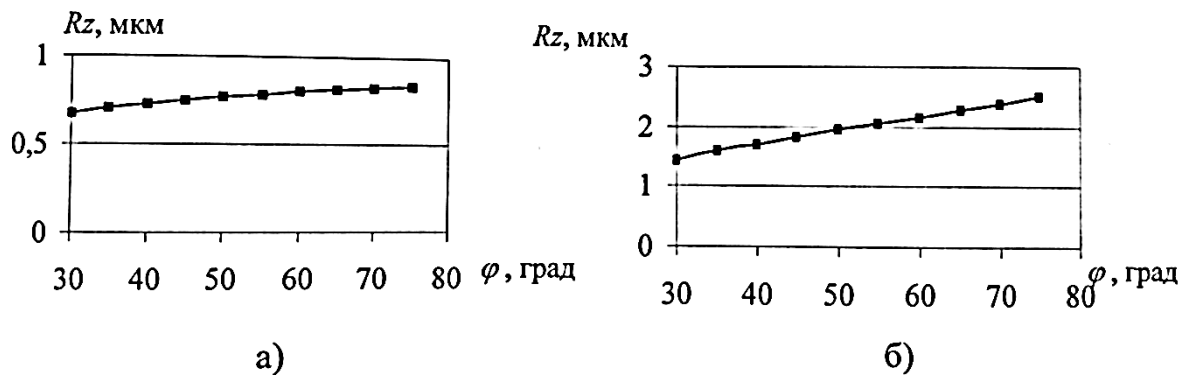
4) перерозподілення припуску між ступенями: $t_1 = 0,08 \text{ мм}$; $t_2 = 0,02 \text{ мм}$; $t_3 = 0,08 \text{ мм}$; $t_4 = 0,02 \text{ мм}$; $t_5 = 0,08 \text{ мм}$; $t_6 = 0,02 \text{ мм}$; $t_7 = 0,07 \text{ мм}$; $t_8 = 0,03 \text{ мм}$; $t_9 = 0,5 \text{ мм}$ збільшує максимальне значення колової складової сили різання P_k ($P_{k \max} = 22,4 \text{ Н}$) і не впливає на потужність основної гармоніки P_k .

Зміна радіусів ступеней призводить до зменшення або збільшення числа різальних ножів, що приймають участь у різанні, тому є аналогічним зменшенню або збільшенню ширини фрезерування B .

3.3 Розрахункова шорсткість обробки торцевою фрезою з комбінованою схемою різання

Визначимо розрахункову шорсткість обробки чистовою торцевою фрезою, оснащеною різальним ножами з не заокругленою та заокругленою вершинами.

Для різального ножа без перехідної кромки з кутам $\varphi = 30 - 75^\circ$ та $\varphi_1 = 10 - 30^\circ$ розрахункова шорсткість обробки за формулою (2.3) в напрямку паралельному до вектору подачі заготовки при $S_{\text{хв}} = 5$ мм/хв представлена на рис. 3.8.



а) $\varphi = 10^\circ$; б) $\varphi_1 = 30^\circ$

Рисунок 3.8 – Розрахункова шорсткість обробки

Найменші значення прозрахункової шорсткості обробки досягаються при найменших значеннях кутів в плані φ та φ_1 .

Визначимо розрахункову висоту мікронерівностей для ножа, вершина якого заокруглена радіусом r (при $S > r$) за залежністю по формулі (2.4).

Аналіз отриманих значень (рис.3.9) дозволяє робити висновок, що для тієї ж подачі S , збільшення радіусу заокруглення вершин до $r = 4.5$ мм дає можливість

отримати менші значення розрахункової шорсткості обробки ніж для ножа з не заокругленою вершиною.

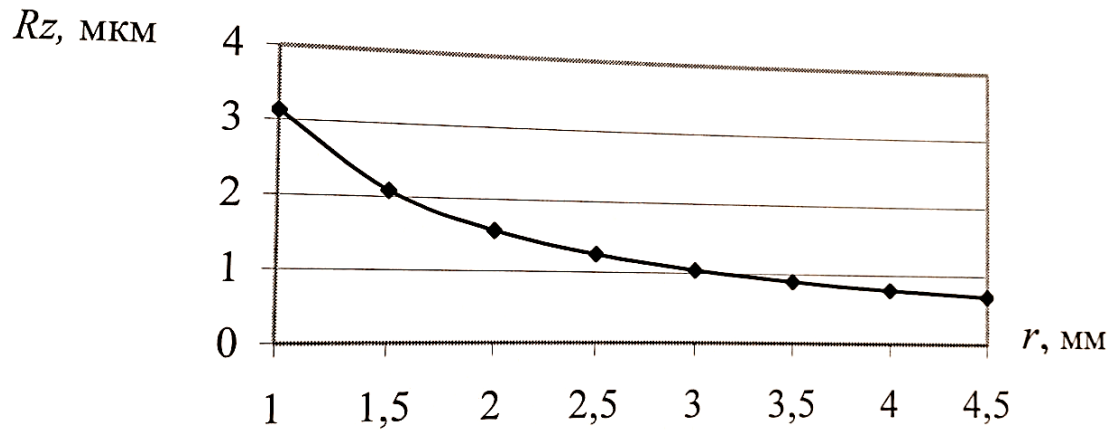


Рисунок 3.9 – Вплив радіусу заокруглення різальної кромки r на розрахункову висоту мікронерівностей Rz при постійній подачі $S_{\text{хв}} = 5$ мм/хв

Якість чистової обробки плоских поверхонь косокутною торцевою фрезою з комбінованою схемою різання суттєво залежить від відхилення вісі шпинделя верстата від перпендикуляра до заготовки.

4 КОНСТРУКЦІЯ ЧИСТОВОЇ КОСОКУТНОЇ ТОРЦЕВОЇ ФРЕЗИ З КОМБІНОВАНОЮ СХЕМОЮ РІЗАННЯ

4.1 Опис конструкції фрези з комбінованою схемою різання

Конструктивно фреза складається із корпусу 1 (рис. 4.1), в якому розташовані нерухомо закріплені різальні ножі в послідовності, яка забезпечує ступінчасту схему різання, а також рухомий різальний вузол. Окрім цього до складу фрези входить копір 2, який кріпиться гвинтами 3 з кільцями 4 до корпусу шпиндельної коробки, і призначений для забезпечення здійснення рухомим різальним вузлом прямолінійного руху в процесі різання.

Кріплення різальних ножів, що містяться безпосередньо в корпусі 1, реалізується за допомогою клинкової схеми, завдяки втулці 5, що має похилий зріз, та болту 6 з шайбою 7, якими здійснюється закріплення в потрібному положенні різальних ножів. Точне регулювання осевого положення цих різальних ножів здійснюється мікрометричними гвинтами 8.

Рухомий різальний вузол складається із плунжера 9, що має можливість прямолінійного переміщення в корпусі 1 фрези і за рахунок пружини 10. В корпус 1 вгвинчено пробку 11 для запобігання перекошування пружини 10. Завдяки пробці 11 існує можливість регулювання величини попереднього стиску пружини 10. Рух плунжера 9 до вісі фрези здійснюється за рахунок використання плоскої ділянки на внутрішній поверхні копіра 2, по якій котиться підшипник 12. Таким чином плоско-паралельний прямолінійний рух вісі обертання підшипника 12 (легка серія діаметрів 1, серії ширин 7: 7000103 ГОСТ 8338-75, від вісі обертання фрези передається на палець 13, на якому закріплено підшипник 12 за допомогою болта 14 з шайбою 15. Палець 13 закріплений в плунжері 9 гвинтом 16 з кільцем 17. В плунжері 9 встановлений і закріплений за допомогою гвинта

18 рухомий процесі обробки різальний ніж з можливістю точного регулювання його осевого вильоту завдяки мікрометричному гвинту 8.

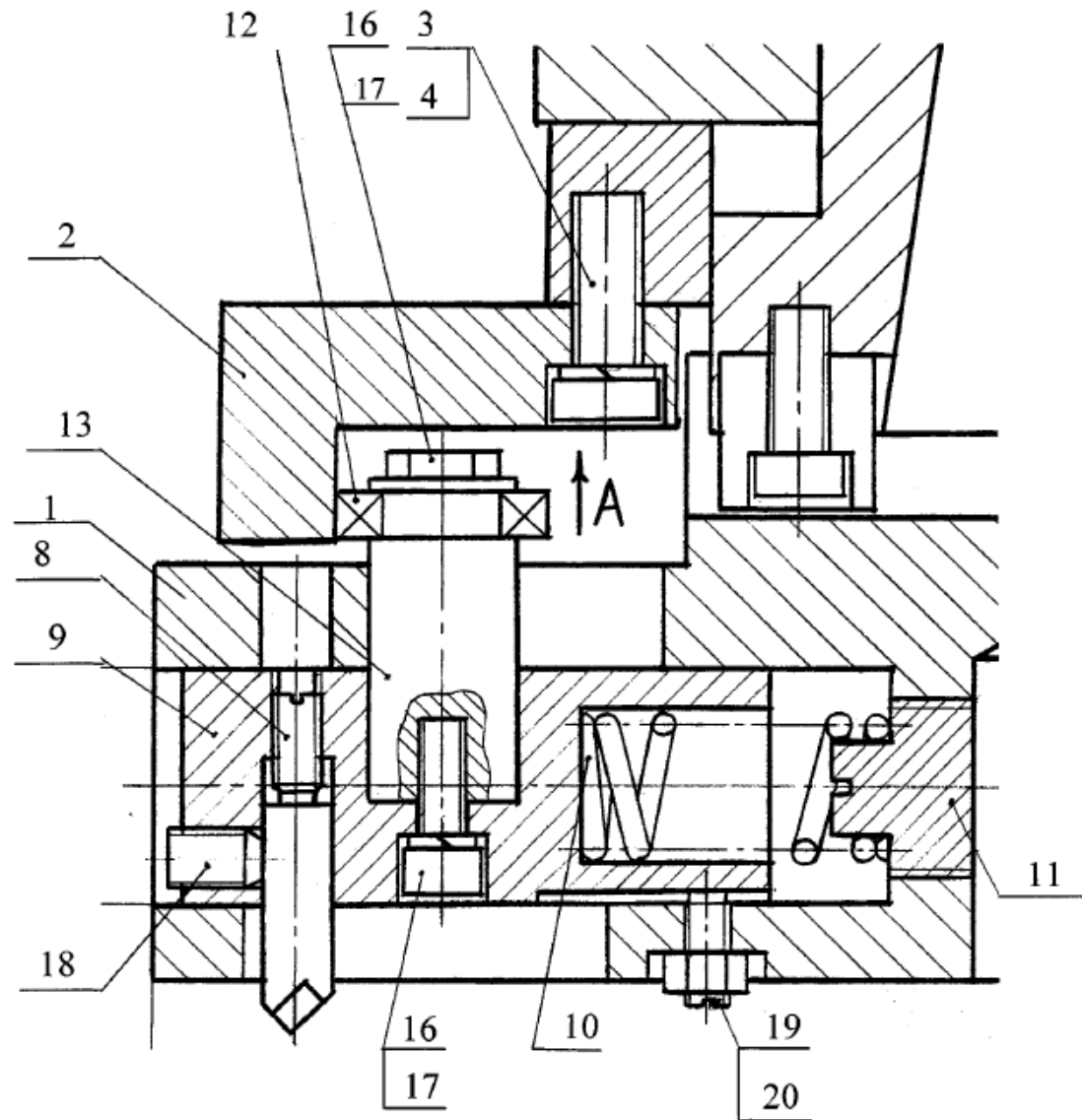


Рисунок 4.1 - Рухомий різальний вузол чистової косокутної торцевої фрези з комбінованою схемою різанням

Копір, який встановлюється на корпусі шпиндельної коробки представлений на рис. 4.2.

Таким чином, повторюючи внутрішню діаметральну поверхню копіра, рухомий різальний ніж здійснює плоско-паралельний прямолінійний рух за схемою приведеною на рис. 3.3.

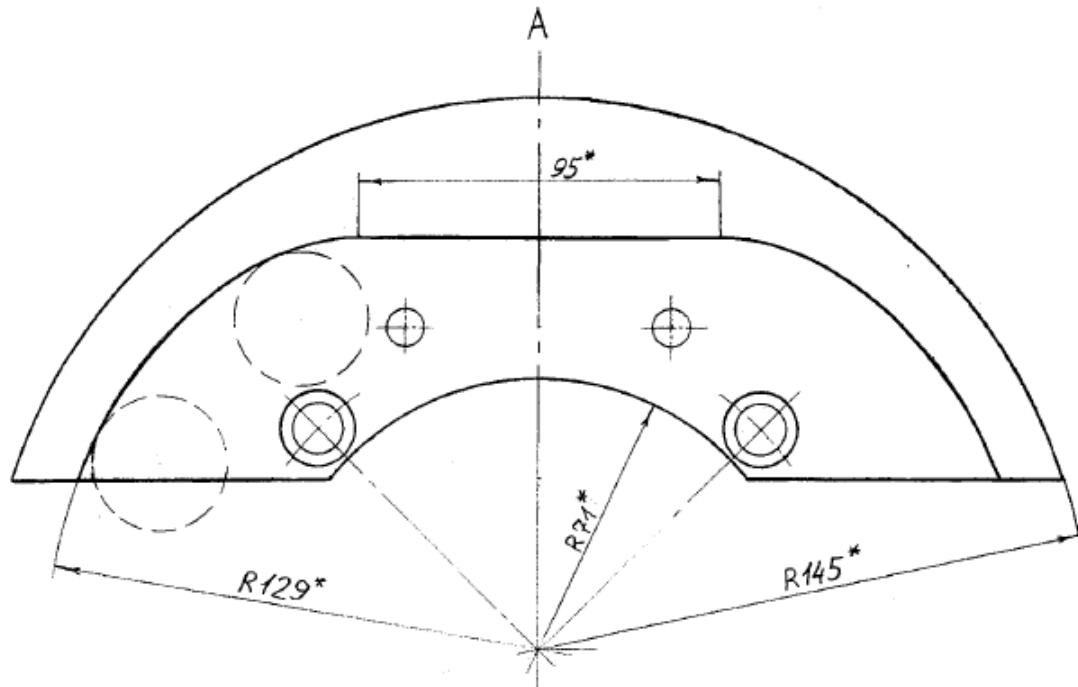


Рисунок 4.2 - Копір

З метою запобігання повороту плунжера 9 навколо своєї вісі в розглядуваній конструкції фрези передбачено гвинт 19, який, по закінченню відповідного регулювання, фіксується гайкою 20.

4.2 Послідовність складання фрези

Складання фрези для подальшого її використання при обробці плоских поверхонь деталей здійснюється в наступному порядку.

1. Для встановлення нерухомо закріплюваних відносно корпусу фрези різальних ножів:

- втулку з болтом встановлюють в відповідний отвір корпусу 1 так, щоб своїм скосом втулка була повернута до отвору для різального ножа;
- встановлюють різальний ніж у відповідний отвір та, обертаючи болт, попередньо притискають для запобігання його випадання з корпусу 1 фрези;
- вгвинчують мікрометричний гвинт 8, який забезпечує регулювання осевого вильоту різального ножа.

2. Складання рухомого різального вузла здійснюється наступним чином:

- в корпус 1 вгвинчують пробку 11 та гвинт 19;
- встановлюють пружину 10 в плунжер 9;
- плунжер 9 з пружиною 10 встановлюють в відповідному отворі корпусу 1 так, щоб виступ гвинта 19 попав в паз плунжера 9, і протилежний від плунжера 9 торець пружини 10 опинився встановленим на виступ пробки 11;
- прикладають до зовнішнього торця плунжера 9 зусилля в напрямку до центра фрези доки повністю не відкриється паз в плунжері 9 для встановлення в нього пальця 13;
- встановлюють палець 13 в плунжері 9 та закріплюють болтом 16 з шайбою 17;
- крізь отвір в корпусі 1 мікрометричний гвинт 8 загвинчують в плунжер 9;
- встановлюють різальний ніж у відповідному отворі плунжера 9 крізь отвір корпусу 1 та попередньо притискають його гвинтом 19;
- здійснюють регулювання гвинта 19 та його фіксацію гайкою 20.

4.3 Розташування нерухомих різальних ножів фрези в процесі обробки з комбінованою схемою різання

Після виконання перелічених вище операцій різальні ножі фрези встановлюють та виставляють їх осьовий виліт. Розрахуємо осьовий виліт кожного різального ножа, враховуючи його радіальне розташування. Розподілимо сумарну глибину різання характерну для чистової обробки торцевими фрезами $t_{\Sigma} = 0,75$ мм між ступенями фрези. Формула для цього розрахунку має вигляд:

$$t_i = t_{\Sigma} = (R_i - R_{\text{чист}}) / (R_{\text{чорн}} - R_{\text{чист}}) \quad (4.1)$$

Розташування різальних ножів в полярній системі координат показано в табл. 3.1.

Таблиця 4.1 - Розташування різальних ножів в полярній системі координат

№ спіралі	№ ножа	Радіальне розташування ножів, мм		Кутове розташування ножів, град		Відносне осьове розташування ножів, мм
		Номін. р-с	Дійсний р-с	Номін. кут	Дійсний кут	
1 спіраль	22	132	131,9	0	0	0,07
	1	134,2	134,2	16,5	16,5	0,21
	2	136,8	136,75	31	31	0,38
	3	140	140	45,5	45,3	0,59
1 спіраль	4	131	131,05	60	60,8	0
	5	133,1	133,05	74,5	74,2	0,14
	6	135,5	135,4	89	88,6	0,3
	7	138,4	138,3	103,5	103,0	0,49
	8	141,6	141,6	118	117,5	0,7
1 спіраль	9	132	132	132,5	131,9	0,07
	10	134,2	134,2	147	146,3	0,21
	11	136,8	136,8	161,5	160,7	0,38
	12	140	139,9	176	175,1	0,59

Кінець таблиці 4.1

1 спіраль	13	132	131,9	214,5	213,5	0,07
	14	134,2	134,05	230,7	229,7	0,21
	15	136,8	136,7	246,9	245,8	0,38
	16	140	139,9	263,1	262,0	0,59
1 спіраль	17	131	130,9	279,3	278,1	0
	18	133,1	133	295,5	294,3	0,14
	19	135,5	135,4	311,7	310,5	0,3
	20	138,4	138,35	327,9	326,6	0,49
	21	141,6	141,5	344,1	342,8	0,7
Рухомий ніж	22	0,75				

Рівняння логарифмічної

$$\rho = \rho_0 * q^{\frac{\varphi}{2\pi}} \quad (4.2)$$

де ρ – радіус спіралі, ρ_0 – початковий радіус спіралі, φ – кут.

$$\ln \rho = \frac{\varphi}{2\pi} \ln q + \ln \rho_0 \quad (4.3)$$

Перша спіраль

$$\ln 131,9 = 0 + \ln \rho_0 \rightarrow \rho_0 = 131,9$$

$$\ln 140 = 0,7915/(2\pi) \ln q + \ln \rho_0$$

$$\ln q = (\ln 140 - \ln 131,9) * 2\pi / 0,7915$$

$$\ln q = 0,473139 \rightarrow q = e^{0,473139} = 1,605024$$

$$\rho = 131,9 * 1,605024^{\frac{\varphi}{2\pi}}$$

Аналогічно отримані значення початкових радіусів спіралей і коефіцієнти росту представлені в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Значення початкових радіусів спіралей і коефіцієнти росту

№ спіралі	ρ_0	$q_{\text{ном}}$	$q_{\text{дійсне}}$
1	131,9	1,008	1,0083
2	131,05	1,008	1,0086
3	132	1,008	1,0085
4	131,9	1,008	1,0076
5	130,9	1,008	1,0079

Вигляд фрези з торця і схематичне розташування різальних ножів за логарифмічними спіралями показано на рис. 4.3.

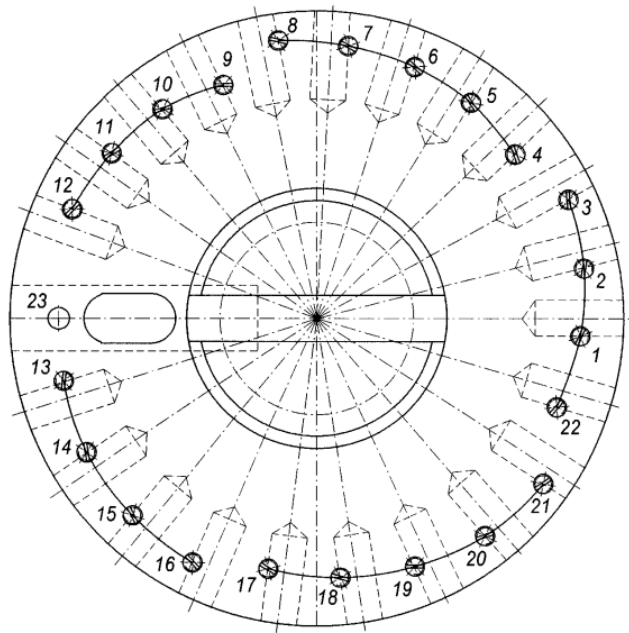


Рисунок 4.3 - Вигляд фрези з торця і схематичне розташування різальних ножів за логарифмічними спіралями

Характерною особливістю торцевого фрезерування торцевою ступінчастою фрезою (рис. 4.4) є неоднакова шорсткість за шириною обробки. Теоретична висота мікронерівностей обробленої поверхні (її геометрична складова) на певній базовій лінії залежить від її положення і розраховується за формулою:

$$Rz = \frac{S^2(r^2 - x^2)}{8Rr^2} \quad (4.4)$$

де r – радіальне розташування формоутворюючого чистового РЕ, мм;

x – відстань від осі фрези до базової лінії на площині, на якій вимірюється шорсткість, мм.

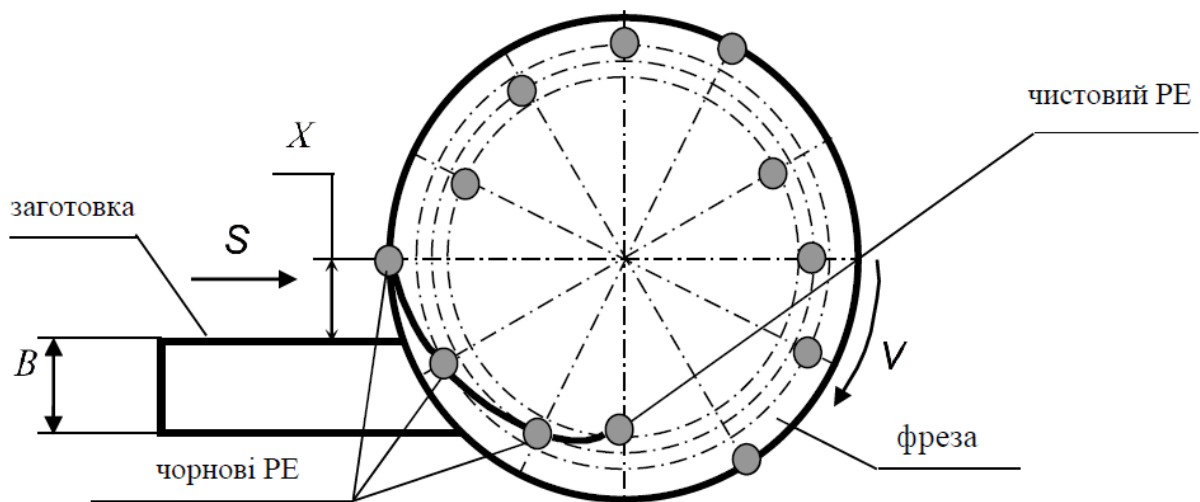


Рисунок 4.4 – Схема розташування торцевої ступінчастої фрези косокутного різання відносно заготовки

З залежності (4.4) видно, що при збільшенні відстані від осі фрези висота мікронерівностей зменшується, що може бути використано для підвищення якості обробки деталей, ширина яких менша ніж радіус, на якому розташований формоутворюючий різальний елемент фрези. Під час фрезерування площин,

ширина яких більша за радіус фрези $B > r$, найбільша висота мікронерівностей буде виникати у площині, що проходить через вісь фрези.

Результати теоретичних розрахунків показують, що отримати шорсткість обробленої поверхні $Rz = 12,5$ мкм можна за рахунок зміщення до 90 мм заготовки при збільшенні подачі. Таким чином досягається підвищення продуктивності обробки поверхні деталі малої ширини практично у 2 рази. Разом з тим, необхідно враховувати, що при симетричному і зміщеному розташуваннях заготовки відносно фрези змінюються параметри зрізаного шару та характеристики процесу стружкоутворення, що вимагає додаткових досліджень для різних матеріалів. Результати експериментальних даних [46] показують, що незалежно від пластичних характеристик оброблюваних матеріалів зміщення заготовки відносно торцевої фрези, оснащеної НТМ, діаметром 250 мм призводить до зменшення дійсної висоти мікронерівностей (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 - Залежність шорсткості обробленої поверхні від зміщення заготовки відносно торцевої фрези

Оброблюваний матеріал	Ra (мкм) при зміщенні заготовки відносно осі фрези X (мм)					
	0	20	40	60	80	100
Чавун СЧ21	1,18	1,18	1,12	0,94	0,80	0,74
Сталь 45	1,20	1,19	1,13	1,00	0,95	0,90

На підставі наведених даних у таблиці 4.3 були отримані регресійні залежності величини шорсткості від зміщення. Обробка даних показала лінійну залежність шорсткості від величини зміщення.

Для сталі:

$$Ra = 1,2448 - 0.050 * \Delta \quad (4.5)$$

Для чавуну:

$$Ra = 1,2295 - 0.034 * \Delta \quad (4.6)$$

де, Δ - величина зміщення, мм.

Графіки залежності шорсткості від зміщення з 95%-м довірчим інтервалом показані на рисунках 4.5 та 4.6.

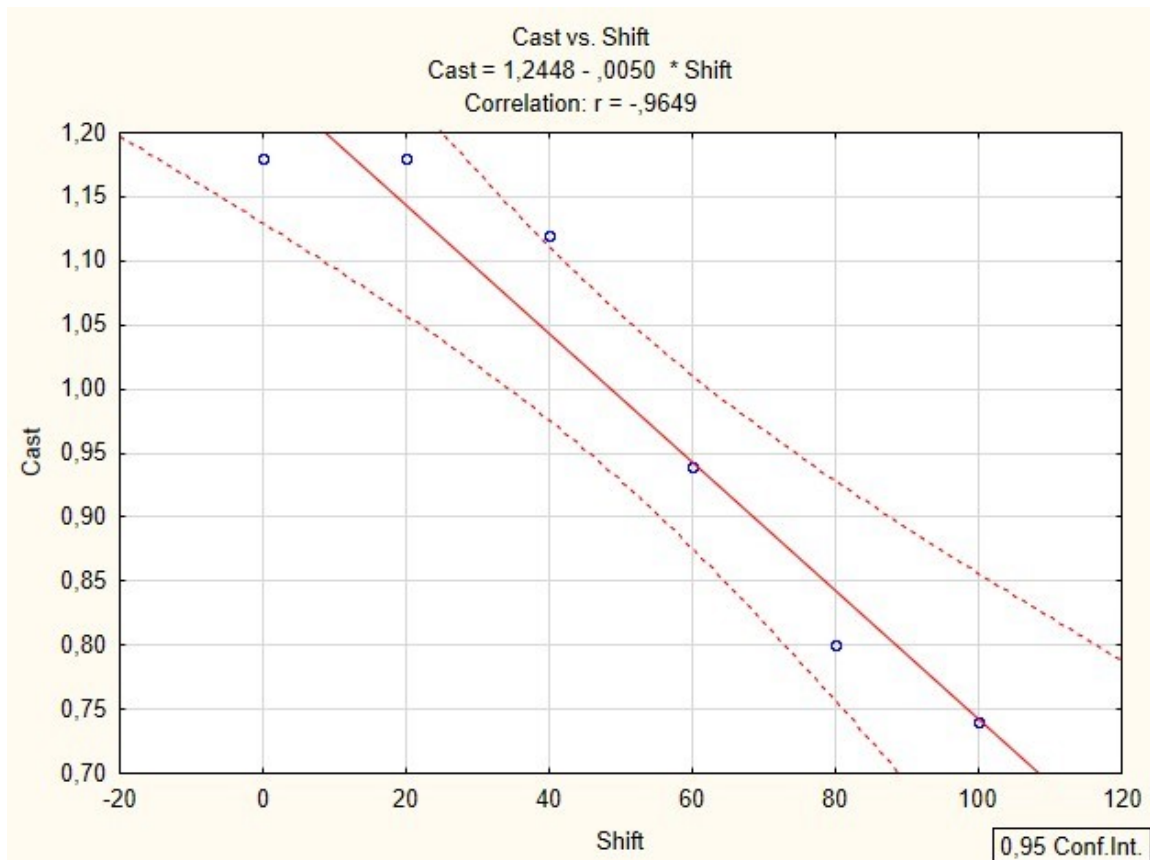


Рисунок 4.5 – Залежність шорсткості обробленої поверхні від зміщення заготовки відносно торцевої фрези при обробці чавуну

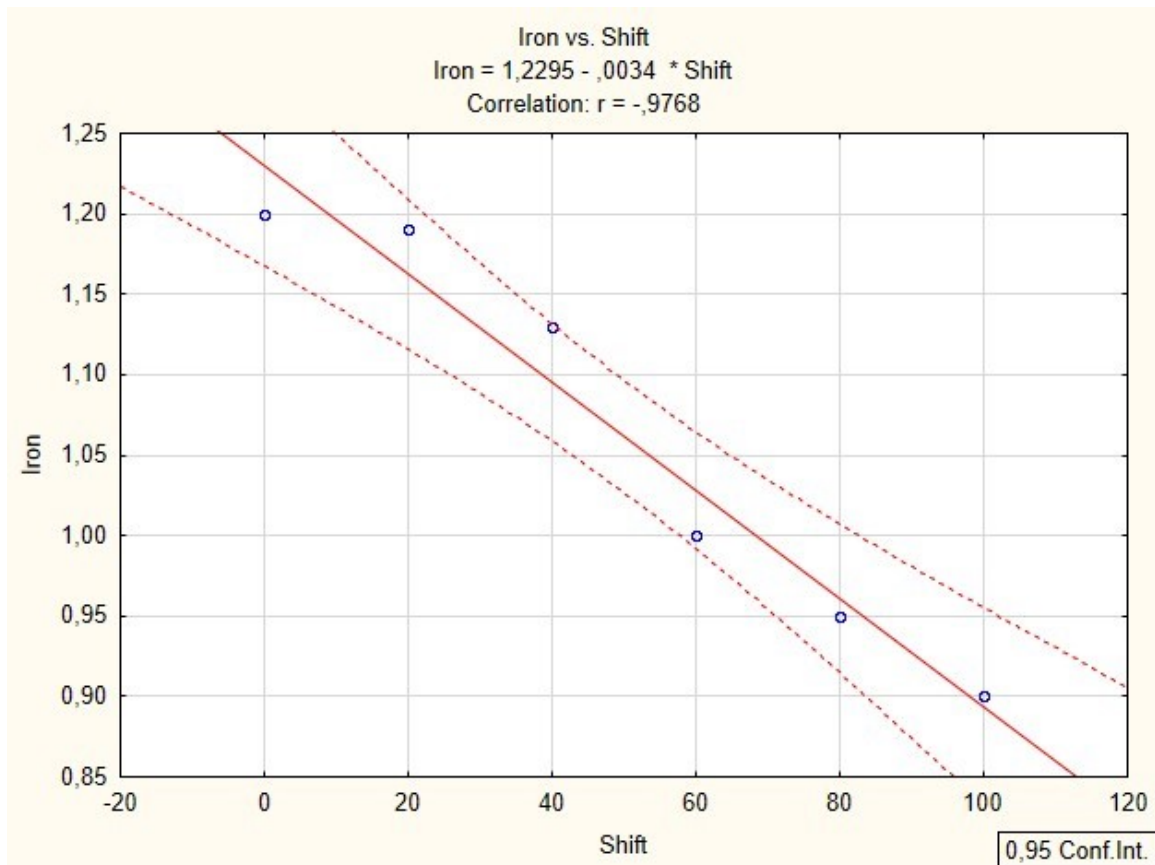


Рисунок 4.6 – Залежність шорсткості обробленої поверхні від зміщення заготовки відносно торцевої фрези при обробці сталі

Отже залежність шорсткості обробленої поверхні від зміщення заготовки відносно торцевої фрези можна описати наступним чином:

$$D \geq 0,6 B + \Delta \quad (4.7)$$

Взявши за основу цю залежність, можна визначити, що при косокутному фрезеруванні різних металів при зміщенні заготовки відносно торцевої фрези призводить до вирівнювання середньоарифметичної висоти мікронерівностей за шириною фрезерування.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз особливостей чистового торцевого фрезерування плоских поверхонь, також розглянуто інструмент, який застосовується при їх обробці.
2. Проаналізовані конструкції чистових косокутних торцевих фрез з комбінованими схемами різання. Запропонована оптимальна конструкція чистової косокутної торцевої фрези з комбінованою схемою різання.
3. Встановлено, що використання комбінованої схеми різання призводить до вирівнювання середньоарифметичної висоти мікронерівностей по ширині фрезерування.
4. Визначено вплив мікрогеометрії обробленої поверхні на експлуатаційні властивості деталей машин. Отримані регресійні залежності величини шорсткості від зміщення фрези. Побудовані графіки залежностей шорсткості від зміщення.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойм Н.Г., Соколов И.Н. Применение лезвийного инструмента из СТМ и минералокерамики в станкостроении// Станки и инструменты. - 1984. - № 7. - С. 14-16.
2. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты. - Киев: Вища шк., 1986. - 455 с.
3. Виговський Г.М. Підвищення працездатності торцевих фрез для чистової обробки плоских поверхонь. - Дис. канд.техн.наук. - Житомир, 2000.
4. Львов Н.П. Влияние угла наклона главной режущей кромки на составляющие силы резания при несвободном точении закаленных сталей. - Вестник машиностроения. - М., вып.2, 1966.
5. Койре В.Е., Малиновский М.Д. Торцовые фрезы для чистовой обработки крупногабаритных деталей// Станки и инструмент. - 1978. - № 4. - С. 14-16.
6. Иванов Ю.А., Садовский В.В. Опыт применения фрез с ножами из СТМ//Станки и инструмент. - 1984. - № 7. - С. 27-29.
7. Иванов Ю.А., Садовский В.В., Ефимов В.Д. Опыт внедрения торцовых фрез с ножами из композита 01// Станки и инструмент. - 1981, №5, С. 34-36.
8. Свирицкий Р.М. Чистовая обработка плоскостей чугуновых деталей фрезами из эльбора-Р// Станки и инструменты. - 1976. - № 9. - С. 18-20.
9. Каменкович А.С., Деречин Л.Г. Исследование процесса фрезерования закаленной стали и чугуна торцовыми фрезами из эльбора-Р// Станки и инструмент. - 1976. - № 12. - С. 27-29.
10. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. спец, вузов. - М.: Высш. пик., 1985. - 304 с.
11. Виговський Г.М., Мельничук П.П., Бушля В.М. Напрямки удосконалення чистових торцевих фрез для обробки плоских поверхонь деталей//Вісник ЖІТІ. - 2002. - № 21. - С. 26-31.

12. Каменкович А.С., Боровский Г.В., Музикант Я.А. Технично-экономическое обоснование эффективности применения лезвийных инструментов из сверхтвёрдых материалов// Станки и инструмент. -1977, № 2, С. 4-6.

13. Комбалов В.С. Влияние шероховатости твёрдых тел на трение и износ. - М.: Наука, 1974.-111 с.

14. Кочеровский Е.В. Стойкость инструментов из композитов и минералокерамики при чистовой обработке закаленного чугуна// Станки и инструмент. - 1985. - № 9. - С. 21-22.

15. Мартиннов Б.А., Боровский Г.В. Торцовые фрезы с механическим креплением режущих пластин из композита// Станки и инструменты. -1980.-№ 10.-С . 13-15.

16. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. М.: Машиностроение, 1975.-344 с.

17. Торцовая регулируемая фреза: А.с. 1576252 СССР, МКІ В 23 С 5/06./Л.Л. Борисова, А.Б. Руденко -№4495330/31-08; Заявлено 17.10.88; Оpubл. 07.07.90, Бюл. № 25. - 2 с.

18. Торцовая фреза: А.с. 1278119 СССР, МКІ В 23 С 5/06. /В.Я. Шевченко - №3883786/30-08; Заявлено 15.04.85; Оpubл. 23.12.86, Бюл. № 47. - 2 с.

19. Торцовая фреза: А.с. 1296318 СССР, МКІ В 23 С 5/06. /В.Н. Скворцов - №3698609/25-08; Заявлено 08.02.84; Оpubл. 15.03.87, Бюл. № 10.- 2 с.

20. Торцовая фреза: А.с. 814597 СССР, МКІ В 23 С 5/06. /Г.А. Прошин, Ю.П. Симоненко (СССР). - №2675371/25-08; Заявлено 20.10.78; Оpubл. 25.03.81, Бюл. № П . - 3 с .

21. 83. Торцовая фреза: А.с. 971591 СССР, МКІ В 23 С 5/06. /Г.Н. Выговский - №3280820/25-08; Заявлено 27.04.81; Оpubл. 07.11.82, Бюл. №4 1 . - 2 с.

22. Торцовая фреза: А.с.1641523 СССР, МКІ В 23 С 5/06. /П.В. Кушников, В.Н. Червяков - №4680865/08; Заявлено 18.04.89; Оpubл. 15.04.91, Бюл. № 14.- 2 с.

23. Торцовая фреза: А.с. 176163 СССР, МКІ В 23 С 5/06. /В.Я. Шевченко - №3883786/30-08; Заявлено 15.04.85; Оpubл. 23.12.86, Бюл. №4 7 . - 2 с.

24. Торцовая фреза: А.с.1691421 СССР, МКІ В 23 С 5/06. /П.В. Кушников - №4670963/08; Заявлено 23.08.90; Оpubл. 19.06.91, Бюл. № 17.- 2 с.

25. Фреза торцовая регулируемая: А.с. 1053983 СССР, МКИ В 23 С 5/06. /В.И. Малыгин, В.В. Матвейкин, А.Д. Шустиков, М.М. Филин - №3472253/25-08; Заявлено 19.07.82; Оpubл. 15.11.83, Бюл. № 42. - 3 с.
26. Фреза: А.с. 1155375 СССР, МКИ В 23 С 5/06. /Н.Н. Коротун - №3684441/25-08; Заявлено 30.12.83; Оpubл. 15.05.85, Бюл. № 18. - 2 с.
27. Фреза: А.с. 973256 СССР, МКИ В 23 С 5/06. /Н.Н. Коротун, В.Н. Шевченко - №3937303/31-08; Заявлено 02.08.85; Оpubл. 23.01.87, Бюл. № 3. - 2 с.
28. Виговський Г.М., Громовий О.А., Серов В.В. Підвищення працездатності торцевих фрез для чистової обробки плоских поверхонь// Вісник ЖІТІ. - 2001 / Спеціальний випуск / Технічні науки. - С. 23-26.
29. Виговський Г.М., Мельничук П.П., Громовий О.А. Використання кінематичних схем різання при чистовому торцевому фрезеруванні//Вісник ЖІТІ. - 2000. - № 13 / Технічні науки. - С. 26-31.
30. Виговський Г.М., Громовий О.А., Мельничук П.П., Ольшевський В.С. Безвершинне косокутне фрезерування. Зношення та стійкість// Вісник ЧІТІ. - 2000. - № 4. - 5 с.
31. Выговский Г.Н., Мельничук П.П. Конструкции и эксплуатация торцовых фрез с ножами из сверхтвердых материалов// Тяжелое машиностроение. - 1999.-№ 6. -С. 25-27.
32. Сенькин Е.Н., Истомин В.Ф., Журавлев С.А. Основы теории и практики фрезерования материалов. - Л.: Машиностроение, 1989. - 103 с.
33. Сенькин Е.Н., Колядин А.В. Выбор эффективных конструкций и условий работы ступенчатых фрез// Станки и инструменты. - 1984. - № 11. - С. 21-22.
34. Армарего И.Дж.А., Браун Р.Х. Обработка металлов резанием. - М.: Машиностроение, 1977, 325 с.
35. Попов В.И., Локтев В.И. Динамика станков. - К.: Техніка, 1975. - 136 с.
36. Баранчиков В.И., Жаринов А.В., Юдина Н.Д., Садыхов А.И. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов. - М.: Машиностроение, 1990. - 400 с.

37. Конструкции и эксплуатация торцовых фрез из сверхтвердых материалов на основе нитрида бора. Методические рекомендации. - М.: НИИмаш, 1984.-66 с.
38. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. - М.: Машиностроение, 1977. - 526 с.
39. Дунин-Барковский И.В., Карташова А.Н. Измерения и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности. - М.:Машиностроение, 1978. - 232 с.
40. Дунин-Барковский И.В., Тупеев С.Х. Спектры неровностей обработанной поверхности и их влияние на долговечность турбины ГТД// В кн.: Повышение ресурса работы авиационных деталей технологическими средствами. - М.: Машиностроение, 1964. - С. 72-107.
41. Miyakawa Yukio. Influence of surface roughness on boundary friction. – Lubricat. Engng, 1974. v. 22, №3, p/ 109-116.
42. Аршинов В.А., Алексеев Г.А. Резание металлов и режущий инструмент. - М.: Машиностроение, 1976. - 440 с.
43. Боровский Г.В. Конструкции инструмента, оснащенного СТМ, для автоматизированного оборудования// Станки и инструмент. - 1990. - № 10.-С . 12-14.
44. Розенберг А.М., Розенберг О. А. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания. - Киев: Наук, думка, 1990. - 320 с.
45. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Силы и мощность при обработке металлов торцовыми фрезами из СТМ// Сверхтвердые материалы. - 1988.-№ 1 .-С . 47-50.
46. Виговський Г.М. Підвищення працездатності торцевих фрез для чистової обробки плоских поверхонь : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.03.01 «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти» / Виговський Георгій Миколайович. – Київ, 2000. – 16 с.