

621.9(075)

П 25

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький державний технічний університет

Б.М. Пентюк, Р.Д. Іскович-Лотоцький, А.Л. Штурма

**Прогресивні конструкції та використання  
ротаційних інструментів**

Вінниця ВДТУ 2001

3158-39

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький державний технічний університет

Б.М. Пентюк, Р.Д. Іскович-Лотоцький, А.Л. Штурма

## Прогресивні конструкції та використання ротаційних інструментів

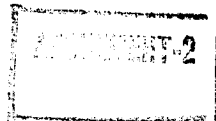


3158-39

621.9(075) П 25 2001

Міністерство освіти і науки України

Затверджено Ученою радою Вінницького державного технічного університету як навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей. Протокол №9 від "27" квітня 2000 року



Вінниця ВДТУ 2001

Рецензенти:

*В.М. Михалевич*, доктор технічних наук, професор

*П.С. Берник*, доктор технічних наук, професор

*М.І. Іванов*, кандидат технічних наук, професор

Рекомендовано до видання Ученою радою Вінницького державного технічного університету Міністерства освіти та науки України

**П 25 Пентюк Б.М., Іскович-Лотоцький Р.Д., Штурма А.Л.**

**Прогресивні конструкції та використання ротатійних інструментів.**

Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ, 2001 – 70 с.

У посібнику проаналізовано сучасні методи ротатійного точіння. Розглянуті конструктивні особливості ротатійних інструментів, які забезпечують високу стійкість і низьку шорсткість оброблених деталей, приведені типові пристосування до токарних і стругальних верстатів з приводом обертання ротатійних інструментів.

На основі техніко-економічних розрахунків показано, що ротатійне різання забезпечує підвищення продуктивності в 3 - 5 разів. Запропоновано комбіновані методи ротатійної обробки і перспективні напрямки їх розвитку.

Розрахована на наукових та інженерно-технічних працівників, які займаються питаннями теорії різання та ріжучого інструмента, а також на аспірантів та студентів вузів III-IV рівня акредитації.

УДК 621.9.04

© Б.Пентюк, Р.Іскович-Лотоцький, Л.Штурма, 2001



## ЗМІСТ

### Вступ

1. Особливості та форми ріжучих елементів ротаційних інструментів.....	5
2. Обробка ротаційними різцями.....	11
2.1. Елементи режимів різання при обробці ротаційними різцями.....	11
2.2. Вплив параметрів режимів різання на шорсткість поверхні деталі.....	18
3. Конструкції ротаційних різців.....	21
3.1. Ротаційні різці.....	21
3.2. Методи подрібнення стружки при обробці ротаційними різцями.....	30
3.3. Стругальні різці.....	32
3.4. Проектування ротаційних різців.....	35
4. Конструкції ротаційних фрез.....	44
4.1. Особливості конструкцій.....	44
4.2. Ротаційне фрезерування.....	47
4.3. Проектування торцевих фрез.....	49
5. Прогресивні ротаційні інструменти.....	57
5.1. Комбіновані інструменти та методи ротаційного різання.....	57
5.2. Інструменти та фрезоточіння.....	59
5.3. Інструменти з гвинтовою різальною кромкою.....	62
6. Висновки та рекомендації.....	67

### Література

## ВСТУП

Підвищенню продуктивності праці в машинобудуванні та матеріалобробці сприяють нові наукові та технічні рішення в галузі обробки різанням.

Продуктивність процесу різання при існуючих інструментальних матеріалах можна збільшити шляхом створення такої схеми процесу різання, при якій температуру, швидкість та тиск в зоні різання можна зменшити без зниження режимів різання. Таке різання найбільш ефективно реалізується при використанні різців з круглою різальною кромкою, що обертається навколо своєї осі. При цьому традиційне тертя ковзання між робочими поверхнями ріжучого елемента і оброблюваною поверхнею замінюється тертям кочення.

Методом традиційного різання можуть оброблюватися зовнішні та внутрішні поверхні, які мають форму тіл обертання, а також традиційні поверхні.

Цей метод обробки має ряд суттєвих переваг. Більша стійкість ріжучого леза і низька температура різання дозволяють збільшити граничну швидкість різання і покращити оброблюваність важкооброблюваних та в'язких матеріалів.

Кінематичні і конструктивні особливості ротацийних інструментів, їх висока стійкість, більший радіус кривизни ріжучої кромки забезпечують високу якість і високі експлуатаційні показники оброблюваної поверхні.

В даній роботі розглянуті традиційні та перспективні конструкції ротацийних інструментів, наведені дані про їх застосування в різних умовах виробництва. Особлива увага приділена умовам подрібнення стружки та рекомендаціям по проектуванню ротацийних інструментів.

## 1 ОСОБЛИВОСТІ ТА ФОРМИ РІЗУЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ РОТАЦІЙНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

Ротацийне точіння набуває застосування з початку ХХ століття. В 1902 р. винахідник Сіменс запатентував спосіб і різець для безперервного точіння фасонних поверхонь (рис.1.1,а). Контур різця виконувався у вигляді декількох фасонних ділянок, спряжених з контуром деталі.

Трубчастий різець, зображений на (рис.1.1.б), мав великий нахил трубки і малий кут різання. Стружка відводилась в отвір трубки. Під дією сил різання трубчастий різець обертався, безперервно поновлюючи різальну кромку, що дозволило вести обробку з дуже високою на той час для швидкорізальної сталі швидкістю різання 100 м/хв.

За способом "флю-піллінг" два інструментальних ролики, встановлені на протилежних балках заготовки, примусово обертаються і знімають стружку подібно шкірці банана (рис.1.1,в). На основі цієї схеми Московським ОКБ металорізальних верстатів був розроблений різець у вигляді кільця, який охоплює оброблювану деталь (рис.1.1,г) і має велику довжину різальної кромки.

Обробка отворів ротацийним зенкером, оснащеним чашкою, встановленою під кутом до осі отвору (рис.1.1,д), дозволяє сумістити різання з вигладжуванням. Спосіб використовується при обробці отворів великого діаметра на Ново-Краматорському машинобудівному заводі. Ріжуча чашка встановлена ексцентрично осі обертання і при спільному обертанні з деталлю (рис.1.1.е) дозволяє обробляти некруглі поверхні.

Ротацийне різання характеризується безперервним відновленням ріжучої кромки, можливістю самоподачі інструмента, змінним перерізом зрізаного шару і малою швидкістю зсуву стружки по передній поверхні ротацийного різця. Все це разом взяте забезпечує високу стійкість інструмента при значному підвищенні продуктивності обробки.

Способи ротацийного різання поділяються на три основні групи - точіння (рис.1.1), стругання, фрезерування, а також групи, які включають перехідні способи - токарне стругання, фрезоточіння і фрезостругання.

Особливість ротацийного різання полягає у використанні інструмента, що має круглі ріжучі вставки, встановлені з можливістю обертання. Обертання круглих вставок (чашок) може здійснюватись під дією сил різання від деталі (самообертання) чи примусово від окремого приводу. При цьому вісь обертання круглої чашки може збігатися з віссю ріжучої кромки (вісь концентрична) чи бути ексцентричною. Можливе планетарне обертання інструмента, коли ріжуча вставка отримує обертання з частотою, відмінною від тієї, з якою обертаються чашки. Планетарне обертання має місце при фрезеруванні торцевими фрезами, що мають ротацийні різці.

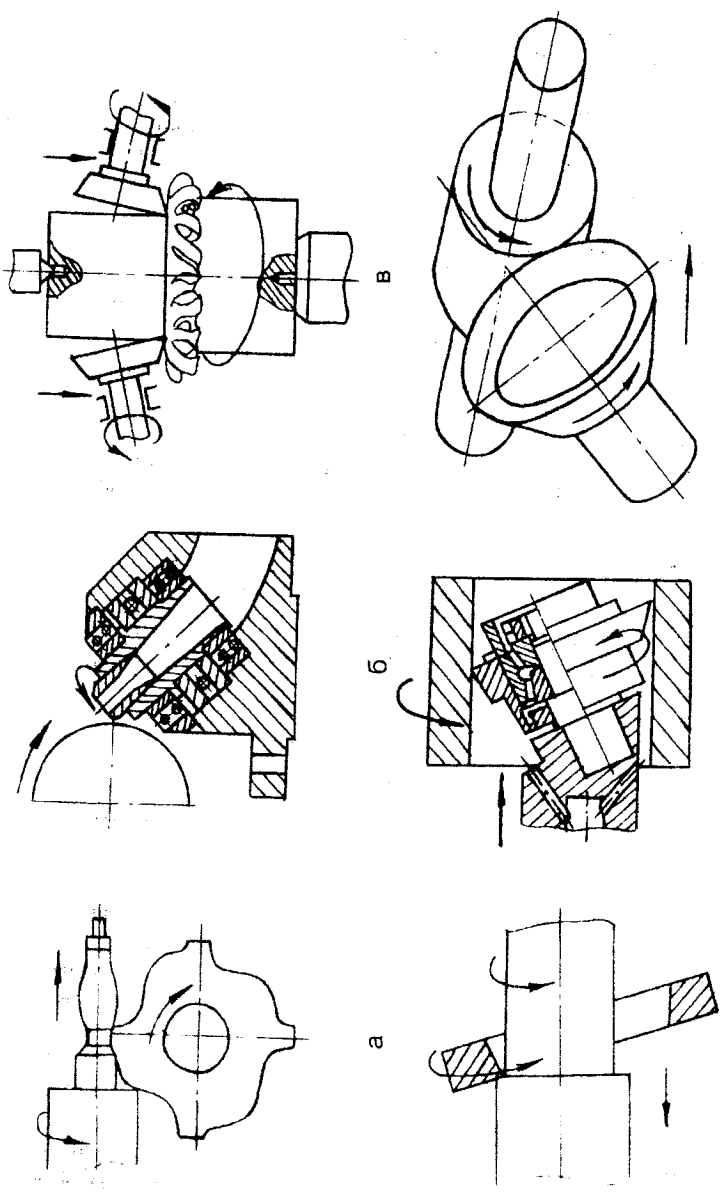


Рисунок 1.1 -Способи ротаційного різання:  
 а - чашолодібним фасонним різцем; б - трубчастим різцем Ігнат'єва;  
 в - відшарування ("флю-піллінг"); г - охоплювальним різцем; д - ротаційним зенкером;  
 е - некрутлим різцем некрутлим тіл обертання

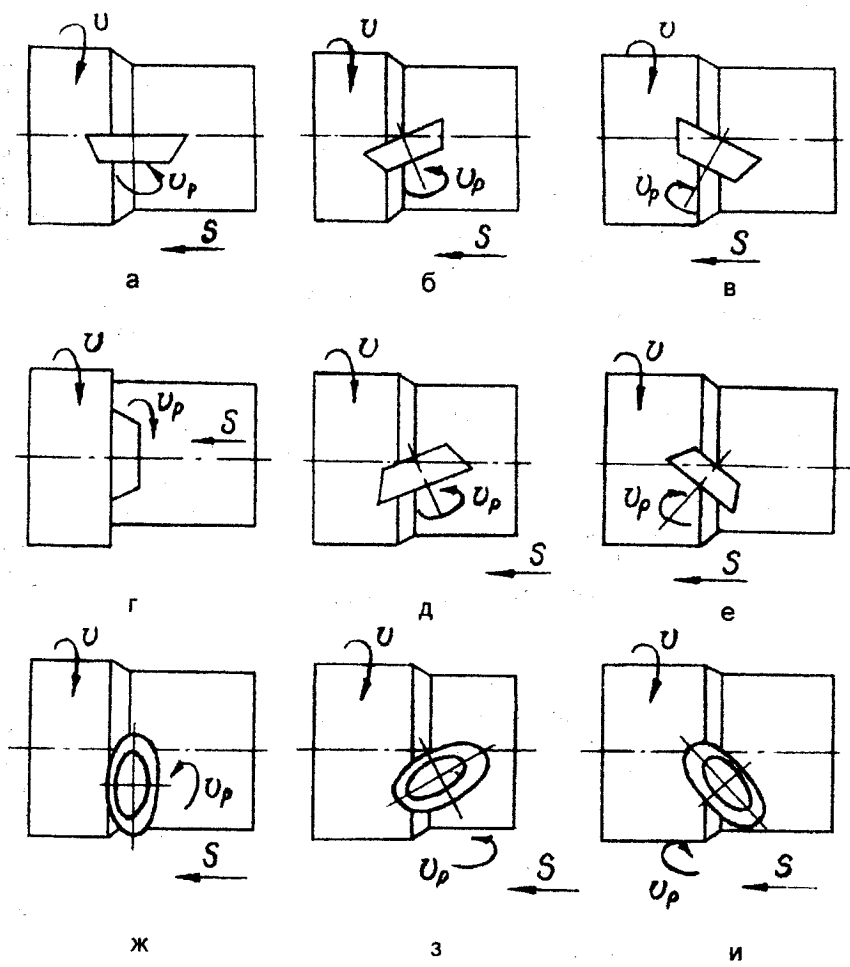


Рисунок 1.2 -Схеми встановлення чашоподібних різців:  
 а-г- торцевою поверхнею до напрямку швидкості різання;  
 д-и- конусною поверхнею;  
 в,е,и - зворотне різання (самоподача)



Подача інструмента і обертання, може здійснюватись як від деталі у вільно встановленому супорті (самоподача), так і примусово. Часто використовується примусова подача ротаційного інструмента.

Класифікація ротаційного інструмента розглянута з урахуванням його форми і форми ріжучих кромок, положення осі ріжучого інструмента і положення ріжучої кромки відносно заготовки: зовнішній, внутрішній і охоплювальний дотик. Розрізняють перпендикулярне (рис.1.2,а), паралельне (рис.1.2,г) і розміщення під кутом осі обертання ріжучого інструмента відносно деталі (рис.1.2,б,в,д-и). У випадку перпендикулярного положення осі обертання (див. рис.1.2,а) чи нахилу її в сторону подачі (див. рис.1.2,б,д,з) спосіб відповідає прямому різанню, при нахилі у протилежну сторону (див.рис.1.2, в,е,и) - зворотному. Зворотне різання здійснюється з самоподачею інструмента, але цю властивість використовують рідко, витрачаючи потужність приводу для забезпечення стабільної подачі і вібростійкості системи.

Розвиток форм ротаційних вставок проходив від простої циліндричної пластини з круглою ріжучою кромкою до складних гвинтових, типу черв'яків. Найбільш поширеною є циліндрична чашка з отвором (рис.1.3 форми а,в,д,е). При специфічних умовах обробки ріжуча вставка може мати трубчасту форму 3 з відведенням стружки через отвір у вставці (див.рис.1.2.б) чи форму кільця 4, що працює внутрішньою ріжучою кромкою. Для одержання додатних передніх кутів чашки виконуються конічної форми е-ж (форма RCMM за ГОСТ 19072-80). Для покращення умов різання чашки можуть мати спеціальне виконання: вкорочену чи зроблену під кутом передню поверхню для подрібнення стружки; сферичну поверхню, призначену для покращення відведення стружки. Для подрібнення стружки вільс отвору чашки виконуються ексцентрично осі ріжучої кромки. Комбінація двох конусних поверхонь чашки забезпечує надійне подрібнення стружки при встановленні її осі під великим кутом до осі заготовки, а також збільшує строк служби чашки при універсальному її використанні (перестановці).

Для спеціальних робіт круглі ріжучі вставки мають фасонну форму. З метою ефективного подрібнення стружки ріжуча кромка чашок виконуються ламаною чи перервною. Вона може бути у вигляді багатогранника, вписаного в коло, ділянок архімедової спіралі, що багаторазово повторюються, розмішених під кутом канавок вздовж задньої чи передньої поверхонь (форма з). Замкнута ріжуча стрічка, встановлена на пластину і натягнута ексцентриком (форма і), дає можливість значно видовжити ріжучу кромку.

Подальшим розвитком багатоступінчастих різців є гвинтові ріжучі леза (типу черв'яка), що мають в основному перерізі геометричні параметри різця (форма л). Для врівноваження осьових сил ріжучі вставки можуть мати гвинтову нарізку лівого чи правого напрямку. Для спеціальних робіт гвинтові ріжучі вставки можуть мати фасонну форму (форма н).

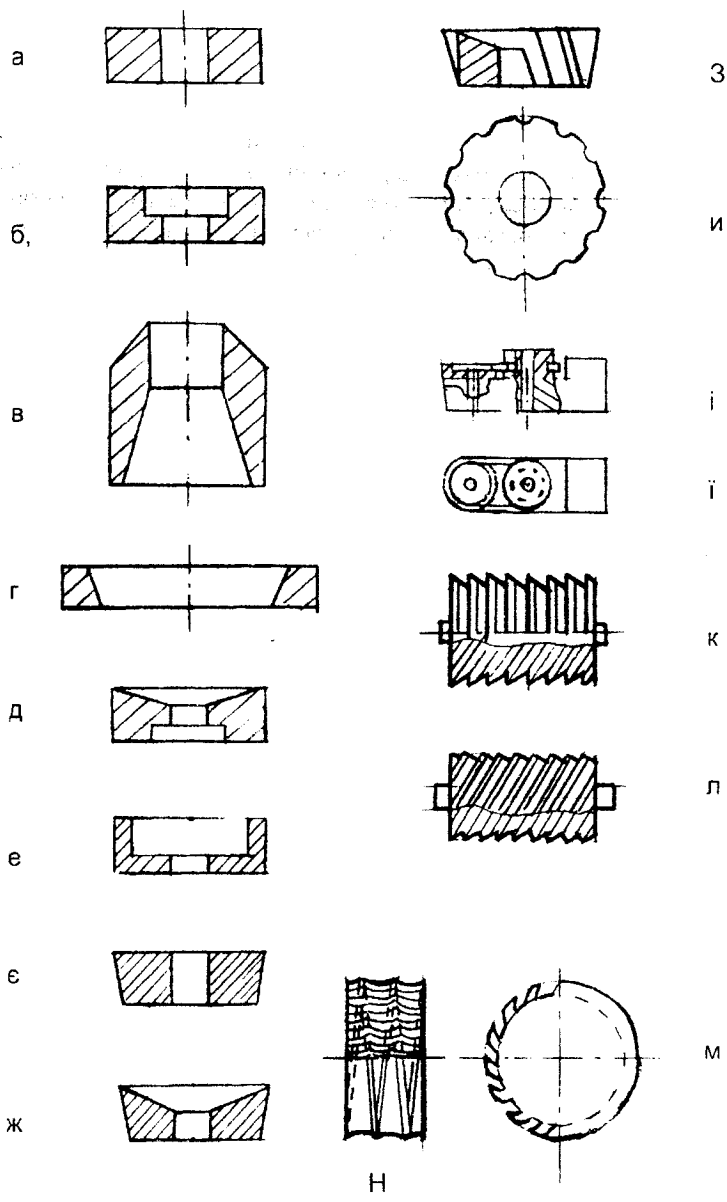


Рисунок 1 3-Форми ротаційних вставок

Найбільш поширені круглі форми ріжучих елементів, які використовуються на ротатійних різцях. При цьому в процесі точіння ріжуча кромка може обертатися примусово від приводу верстата або самостійно під дією сил різання, останній варіант є цікавим як з точки зору теорії різання, так і конструктивних особливостей інструмента.

## 2 ОБРОБКА РОТАЦІЙНИМИ РІЗЦЯМИ

### 2.1 Елементи режимів різання при обробці ротаційними різцями

В залежності від положення геометричної осі ріжучої кромки відносно оброблюваної поверхні і форми поверхонь різця розрізняють дві схеми встановлення (рис. 2.1.).

Перша схема встановлення має вихідне положення осі паралельно вектору швидкості  $\vec{V}$ . Торцева поверхня круглого різця є передньою, а бокова (конічна чи циліндрична) — задньою поверхнею. Основним геометричним параметром встановлення різця, що визначає кут нахилу активної частини ріжучої кромки, є кут  $\lambda$ . При другій схемі вісь кромки у вихідному положенні встановлена по нормалі до обробленої поверхні, тобто перпендикулярно до вектора  $\vec{V}$ . Торцева поверхня обертової чашки різця є задньою, а бокова – передньою поверхнею. Нахил осі різця у вертикальній площині  $YZ$  на кут  $\beta_b$  і повертання в горизонтальній  $XY$  на кут  $\beta_r$  забезпечують зміну кута нахилу активної частини ріжучої кромки.

Кут нахилу ріжучої кромки  $\lambda$  при встановленні різця за першою схемою є і кутом нахилу самої ріжучої кромки відносно вектора  $\vec{V}$  в точці  $O$  (рис.2.1.а). При встановленні за другою схемою кут нахилу ріжучої кромки в точці  $O$  визначається залежністю

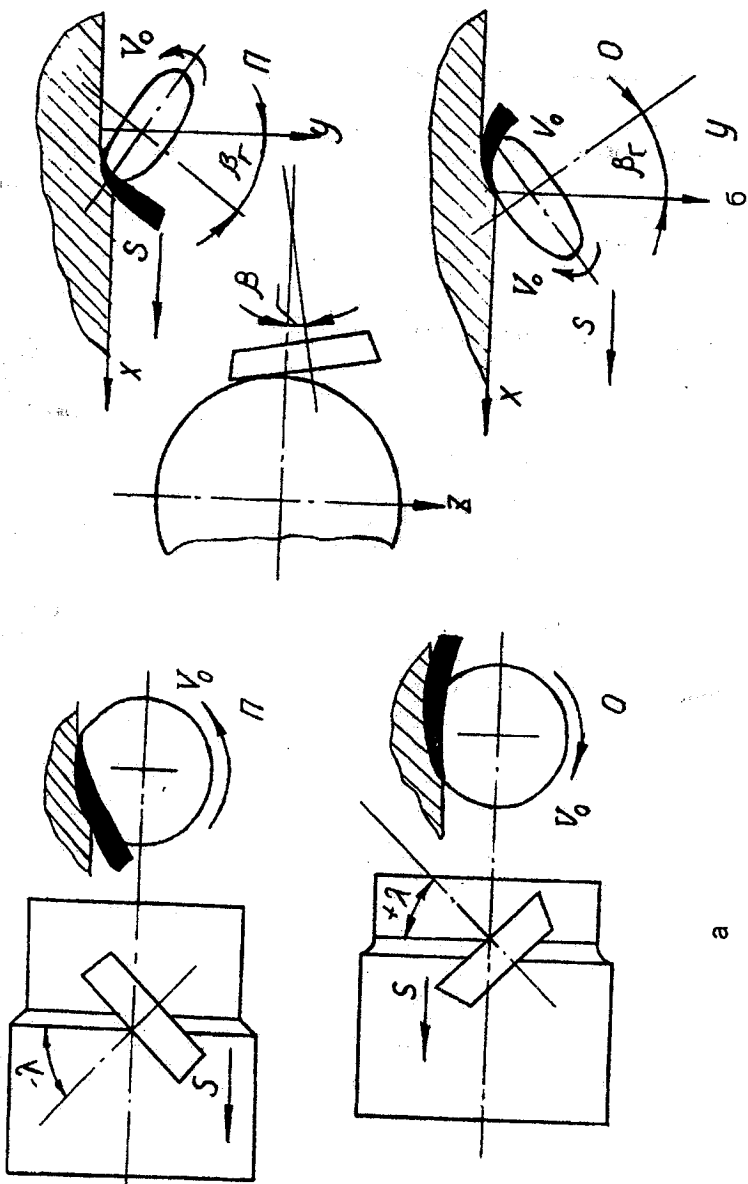
$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{\operatorname{tg} \beta_r}{\operatorname{tg} \beta_b} \quad (1)$$

З допомогою формули (1) можна за кінематичними показниками порівнювати різці, встановлені за першою і другою схемою, при спільному параметрі – за кутом нахилу ріжучої кромки  $\lambda$ .

В залежності від значення кута нахилу ріжучої кромки відносно напрямку подачі  $S$  різання може бути прямим чи зворотним. При цьому різанні активна частина ріжучої кромки нахилена в напрямку подачі різця на кут  $-\lambda$ ; обертання різця і зсув стружки відбувається в сторону оброблюваної поверхні. При зворотньому різанні нахил активної частини ріжучої кромки проти напрямку подачі  $+\lambda$ ; обертання різця і зсув стружки в сторону обробленої поверхні.

В залежності від геометричних параметрів і кута нахилу ріжучої кромки різці, що самі обертаються, можуть працювати в таких режимах:

- в режимі формування мікронерівностей обробленої поверхні ріжучою кромкою з повним відділенням стружки від оброблюваної деталі;
- в режимі "обкатування" задньою поверхнею різця деталі з деяким ковзанням, подібно накатному роликові;



а

Рисунок 2.1 - Схеми встановлення токарних різців при прямому ( $\Pi$ ) та зворотному ( $O$ ) різанні:  
 а - перша; б - друга схема різання

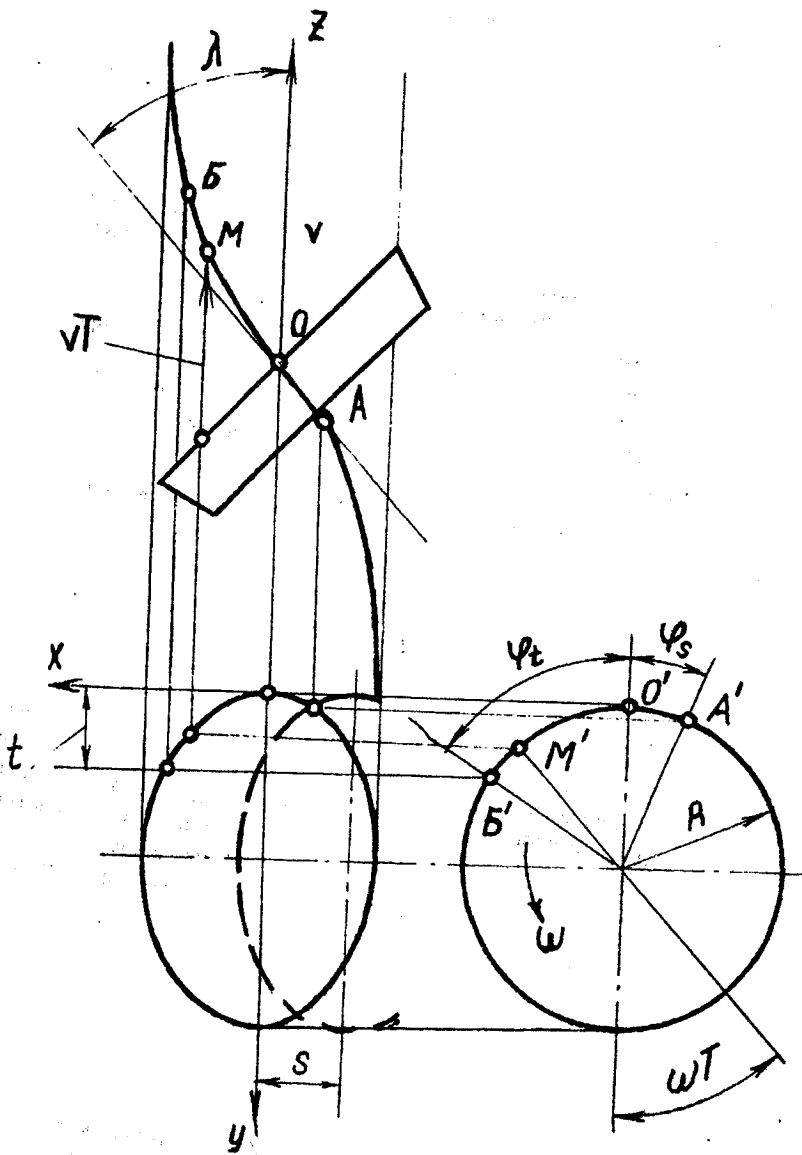


Рисунок 2.2 - Схема ротаційної обробки

- в режимі "відшарування" матеріалу з неповним формуванням стружки.

Далі розглянемо різці прямиго і зворотного різання, що самі обертаються, встановлені за першою схемою, при формуванні обробленої поверхні лише ріжучою кромкою, з обкаткою і повним відділенням стружки від деталі. Отримані при цьому залежності, розрахункові формули і методика їх виведення застосовуються також до аналізу процесу різання інструментами з різцями, які примусово переміщуються.

Розмістимо початок координат в точці О (рис.2.2), що відповідає найбільшому врізанню ріжучої кромки в деталь, яка обробляється і лежить в горизонтальній площині. Координатні осі розміщуємо таким чином: вісь Х - вздовж руху подачі  $\vec{S}$ , вісь Y - перпендикулярно до обробленої поверхні і вісь Z – по вектору  $\vec{V}$ . Розглянемо траєкторію руху точки ріжучої кромки різця при таких умовах:

1. Вісь різця нахилена на кут  $\lambda$  в площині XZ;
2. Головний робочий рух  $\vec{V}$  рівномірний, прямолінійний і направлений по осі Z (випадок стругання);
3. Кутова швидкість самообертання різця постійна  $\omega = \text{const}$ .

Кінематичний аналіз проведемо за методом Г.І. Грачновського, для чого введемо рівняння траєкторії точки ріжучої кромки в оброблюваному матеріалі по координатних осях в паралельній формі. В початковий момент часу ( $T=0$ ) положення досліджуваної точки збігається з початком координат. Через час T точка, здійснивши переміщення колом радіуса R на кут  $\omega \cdot T$  вздовж осі Z на величину  $V \cdot T$ , займе нове положення (точка M) з координатами:

$$\begin{aligned} X &= R \cdot \cos \lambda \cdot \sin \omega T; \\ Y &= R \cdot \sin \omega T; \\ Z &= V \cdot T - R \cdot \sin \lambda \cdot \sin \omega T; \end{aligned} \quad (2)$$

Траєкторії точок ріжучої кромки лежать на поверхні еліптичного циліндра, вісь якого паралельна осі Z. Траєкторія окремої точки являє собою криву типу гвинтової лінії зі змінним кутом підйому. Активна частина траєкторії (відрізок АБ рис.2.2) обмежена кутами  $\varphi_s$  і  $\varphi_t$ , які визначаються для точки А підстановкою в рівняння (3) значень  $x=S/2$ , а для точки Б – значень  $e=t$ :

$$\begin{aligned} \sin \varphi_s &= S/2R \cdot \cos \lambda; \\ \cos \varphi_t &= (1-t/R); \end{aligned} \quad (3)$$

В рівнянні траєкторії (2) є два незалежних параметри руху:  $\omega$  і  $V$ . Для того, щоб із всіх можливих траєкторій руху точки ріжучої кромки вибрати одну, необхідно встановити співвідношення між швидкістю  $V$  і швидкістю обертання ріжучої кромки  $V_0(\omega)$ .

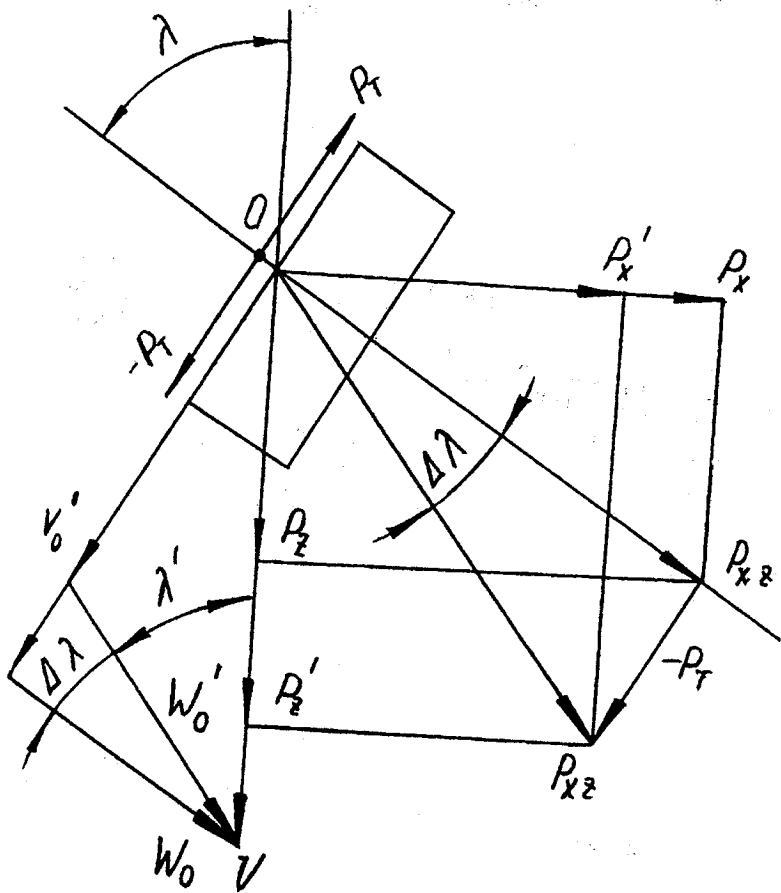


Рисунок 2.3 - Зміна сил та швидкостей при гальмуванні самообертювального різця силою  $P_T$



Швидкість обертання ріжучої кромки  $V_0$  встановлюється в процесі різання в залежності від швидкості тертя ковзання, сил на поверхнях різця і сил, що діють на різець і його опори. Розглянемо ідеалізований випадок, в якому силами тертя в опорах обертальної частини різця можна знехтувати, а дугу активної частини ріжучої кромки ( $\varphi_s$  і  $\varphi_t$ ) замінити точковим контактом в точці J (рис.2.2). При заданих значеннях швидкості  $\bar{V}$  і кута  $\lambda$  (рис.2.3) швидкість різання  $\omega_0$ , як швидкість переміщення точки ріжучої кромки в оброблюваному матеріалі  $\bar{\omega} = \bar{V} - \bar{V}_0$  має мінімальне значення в точці O:

$$\omega_0 = V \cdot \cos \lambda \quad (5)$$

Це відповідає оптимальній швидкості обертання ріжучої кромки:

$$V_0 = V \cdot \sin \lambda \quad (6)$$

Лише при оптимальному значенні  $\bar{V}_0$  вектор швидкості різання  $\bar{\omega}_0$  паралельний осі ріжучої кромки; при всіх інших значеннях швидкості  $\bar{V}_0$  вектор  $\bar{\omega}_0$  створює момент відносно осі, направлений в сторону відновлення оптимальної швидкості  $\bar{V}_0$ .

Швидкість обертання  $V_0$  значною мірою залежить від сил тертя в опорах обертової частини різця. При ідеальних опорах за умовою кінематичної рівноваги обертової частини різця вектор сили різання  $\bar{P}_{xz}$  паралельний осі обертання, а вектор  $\bar{P}_r$  проходить через неї (рис. 2.3). Вектори швидкостей ( $\bar{V}, \bar{V}_0, \bar{\omega}_0$ ) і сил різання ( $\bar{P}_x, \bar{P}_r$ ) пов'язані співвідношеннями (5), (6) і рівнянням:

$$\frac{P_x}{P_r} = \operatorname{tg} \lambda \quad (7)$$

Співвідношення між швидкістю  $V$  і швидкістю обертання ріжучої кромки  $V_0$  (чи  $\omega$ ) в загальному вигляді:

$$V_0 = \omega \cdot R = k \cdot V \cdot \sin \lambda \quad (8)$$

Тут коефіцієнт  $k$  характеризує відхилення швидкості  $V_0$  від свого оптимального значення, визначеного з виразу (6) і представленою як добуток:

$$k = k_{st} \cdot k_\mu \cdot k_s \quad (9)$$

Коефіцієнт  $k_{st}$  враховує вплив кута дуги контакту ( $\varphi_s + \varphi_t$ ) ріжучої кромки з оброблюваним матеріалом чи, що те ж саме, вплив режимів різання на кінематику процесу. Коефіцієнт є поправкою на гальмування обертання ріжучої кромки силами тертя в опорах. Із збільшенням кута  $k_\mu$  і зменшенням коефіцієнта  $\mu_{np}$  величина  $k_\mu$  наближається до одиниці.

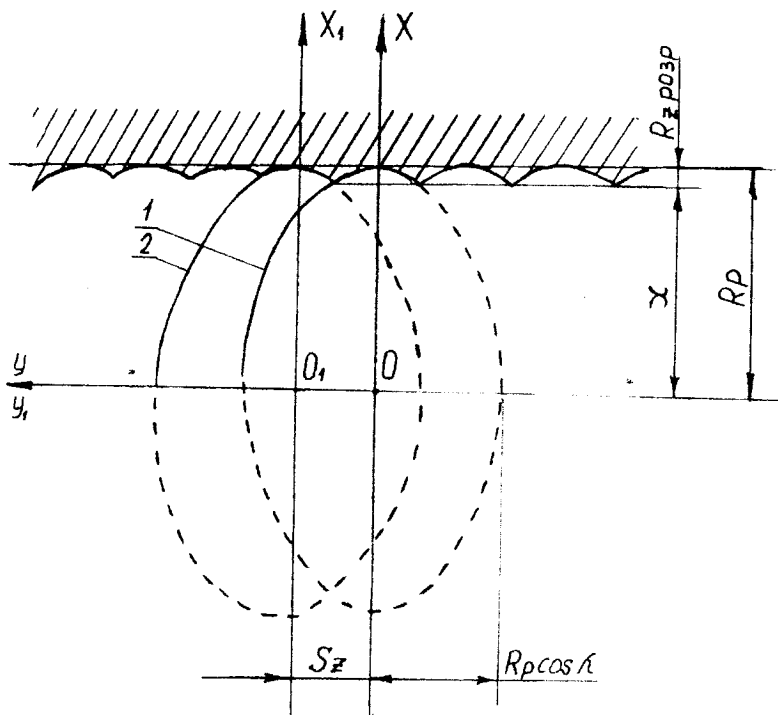


Рисунок 2.4

Коефіцієнт  $K_s$  враховує вплив пластичних властивостей оброблюваного матеріалу на швидкість  $V_0$ . Він визначається експериментальним шляхом.

Геометричні параметри різця суттєвим чином впливають на шорсткість поверхні деталі і мають важливе значення при розрахунках режимів різання.

## 2.2 Вплив параметрів режимів різання на шорсткість поверхні деталі

Схема для визначення висоти розрахункових нерівностей зображена на рис. 2.4. Якщо передня поверхня різця утворена внутрішньою конічною поверхнею чашки, то, незалежно від того, який ріжучий інструмент: стругальний або токарний різець, або торцева фреза, розрахункові нерівності утворюються внаслідок перетину двох еліпсів 1 та 2, півосями яких є  $R_p$  та  $R_p \cos \lambda$ . Еліпси зміщені у напрямку руху подачі на відстань  $S_z$ , рівну подачі на одну ріжучу кромку інструмента.

Висота нерівностей:

$$R_{Z_{\text{расч}}} = R_p - \left( \sqrt{4R_p^2 \cos^2 \lambda - S_z^2} \right) / 2 \cos \lambda \quad (10)$$

Висота розрахункових нерівностей зростає при зростанні подачі та кута нахилу ріжучої кромки та зменшується при зростанні радіуса різця. Найбільш важливий вплив чинить зміна подачі. Самообертання ріжучої кромки на висоту розрахункових нерівностей впливу не чинить.

Нерівності оброблюваної поверхні при точінні стандартним різцем ( $\varphi=45^\circ$ ;  $\gamma=5^\circ$ ;  $\gamma_0=12^\circ$ ;  $\alpha=10^\circ$ ;  $\lambda=+20$ ;  $r=1\text{мм}$ ) значно більші, ніж при точінні різцем, який самообертається, та різниця між ними зростає від збільшення подачі. Якщо по всьому діапазоні розглянутих подач висота нерівностей при роботі різцем, який самообертається, знаходиться в межах 5-7-го класу чистоти, то при роботі стандартним різцем у міру зростання подачі чистота зменшується до 3-го класу. Зменшення висоти нерівностей при точінні різцем, що самообертається, порівняно зі стандартним пов'язано не з самообертанням ріжучої кромки, а з круговою формою ріжучої кромки, яка зменшує висоту розрахункових нерівностей (рис.2.5). При точінні стандартним різцем (рис.2.5,а) мікропрофіль має регулярне повторення виступів та заглиблень з відстанями між ними, рівними подачі на оберт; висота нерівностей =10мкм. При точінні різцем, який самообертається (рис.2.5,б), відхилення від профілю утворюються внаслідок биття кругової ріжучої кромки навколо своєї осі, висота нерівностей  $R_z=4,5\text{мкм}$ .

Вплив кута  $\lambda$  на величину  $R_z$  при різанні різцем, який самообертається, та різцем, який не обертається, зображено на рис.2.6. Зростання від'ємного кута супроводжується збільшенням висоти

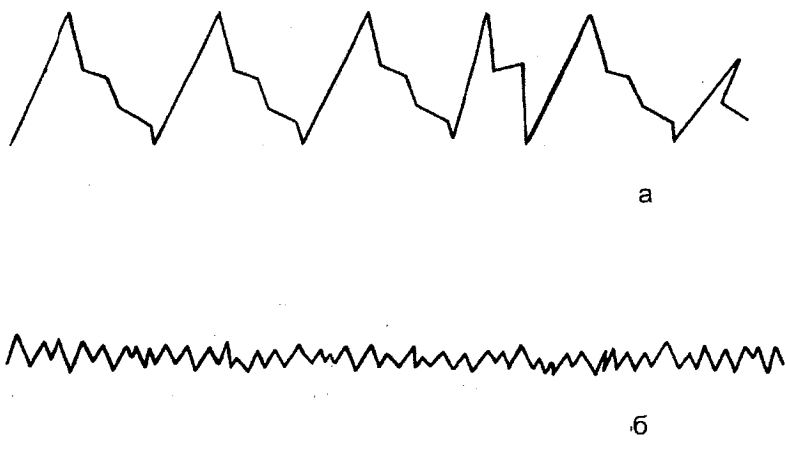


Рисунок 2.5 - Профілограми обробленої поверхні при точінні сталі 3Х13 стандартним різцем (а) та різцем який самообертається (б)

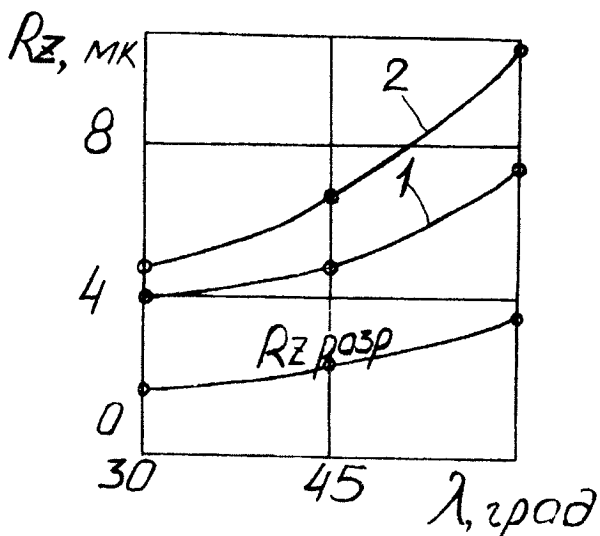


Рисунок 2.6

нерівностей, оскільки при різанні різцем, який не обертається (крива 1), та різцем, який обертається (крива 2), розрахункові нерівності також збільшуються. При цьому висота нерівностей при різанні різцем, який обертається, весь час залишається більшою, ніж при різанні різцем, який не обертається.

Як показує досвід, інтенсивність впливу глибини різання на висоту нерівностей змінюється у міру зростання її величини. При точінні сталі 3X13 різцем, який самообертається, із кутом  $\lambda = -45^\circ$ ,  $S = 0,29 \text{ мм/об}$  та  $V = 25 \text{ м/хв}$  збільшення глибини від 0,5 до 1,5 мм викликало порівняно невелике зростання висоти нерівностей; подальша зміна глибини різання до 3 мм привела до різкого зростання висоти нерівностей, при цьому двократне зростання  $t$  збільшило  $R_z$  в 3 рази. Такий вплив глибини різання при  $t > 1,5 \text{ мм}$  пов'язаний із зростанням коливаний системи ВПД внаслідок збільшення робочої довжини ріжучої кромки та зменшення робочого переднього кута різця.

## З КОНСТРУКЦІЇ РОТАЦІЙНИХ РІЗЦІВ

### 3.1 Ротаційні різці

Перша конструкція різців з ріжучою частиною, що обертається, з'явилася в Німеччині у 1901 р. Чашковий різець встановлювався ріжучою кромкою на рівні центрів верстата і мав примусовий привід обертання від ходового гвинта.

У 1929 р. створено трубчастий різець (рис.1.1.б), який забезпечував великий передній кут різання, завдяки чому сили різання зменшились в 1,4 - 1,5 рази. Отвір у різці та корпусі використовувався для відведення стружки. Трубчастий різець обертася і дозволяв збільшити в 1,7-2 рази швидкість різання, 5-6 разів литоме зняття металу і приблизно в 1,5 разу зменшити витрати енергії на різання.

Широке застосування в конструкціях ротаційних різців отримали підшипники кочення. У зв'язку з ростом швидкості різання до підшипникових вузлів ставляться вимоги надійної тривалої роботи при високих частотах обертання різця: 3000-6000 об/хв. Для цих цілей потрібно було зменшити габарити підшипників, що дало можливість збільшення швидкості підшипникового вузла. Найбільш прості та надійні ротаційні різці на кінцевих і радіально-упорних підшипниках. Конструкція такого різця приведена на рис.3.1.а. В різцетримачі 1 на підшипниках 2 і 3 встановлена вісь 4 з чашковою пластиною 5. Встановлення чашки відповідає другій геометричній схемі різання (див.рис.1.2.е).

Для чорнової обробки потрібні підшипникові опори високої жорсткості. В таких випадках застосовуються підшипники ковзання (рис.3.1.б). В різцетримачі 1 на двох залізграфітних підшипниках 2 встановлено вісь 3, на якій закріплена чашка 4, що має форму з (див.рис.3.1). Між підшипниками є проміжок 5, який заповнюється мастилом, що запобігає перегріванню вузла. Залізграфіт, з якого виготовлені підшипники, відрізняється високою міцністю, зносостійкістю і низькими витратами на тертя. В мастило вводиться графіт (до 30%), підшипниковий вузол може працювати тривалий час при високих швидкостях без повторного змащування. При точінні легованих, вуглецевих та жароміцних сталей різцями з твердосплавною ріжучою частиною при  $V=5-6,5$  м/с,  $S=0,5-1,0$  мм/об,  $t=0,5-1,0$  мм, шорсткість обробленої поверхні відповідає 5-7 класу.

На рис. 3.1.в показано ротаційний різець для чистової обробки конструкційних сталей. В його корпусі 1 закріплена вісь 2 з доріжками кочення. Зовнішня обойма підшипника 3 виконує одночасно роль ріжучої частини, яка має дві ріжучі кромки, що дає можливість підвищити стійкість інструмента. Як тіла кочення використовуються кульки 4 (можливе і використання роликів). Натяг в опорах здійснюється гайкою 5. Кут нахилу осі різця вибирають в межах  $15^{\circ}-35^{\circ}$ , в залежності від умов обробки. При точінні вуглецевих конструкційних сталей різцями з ріжучою частиною із

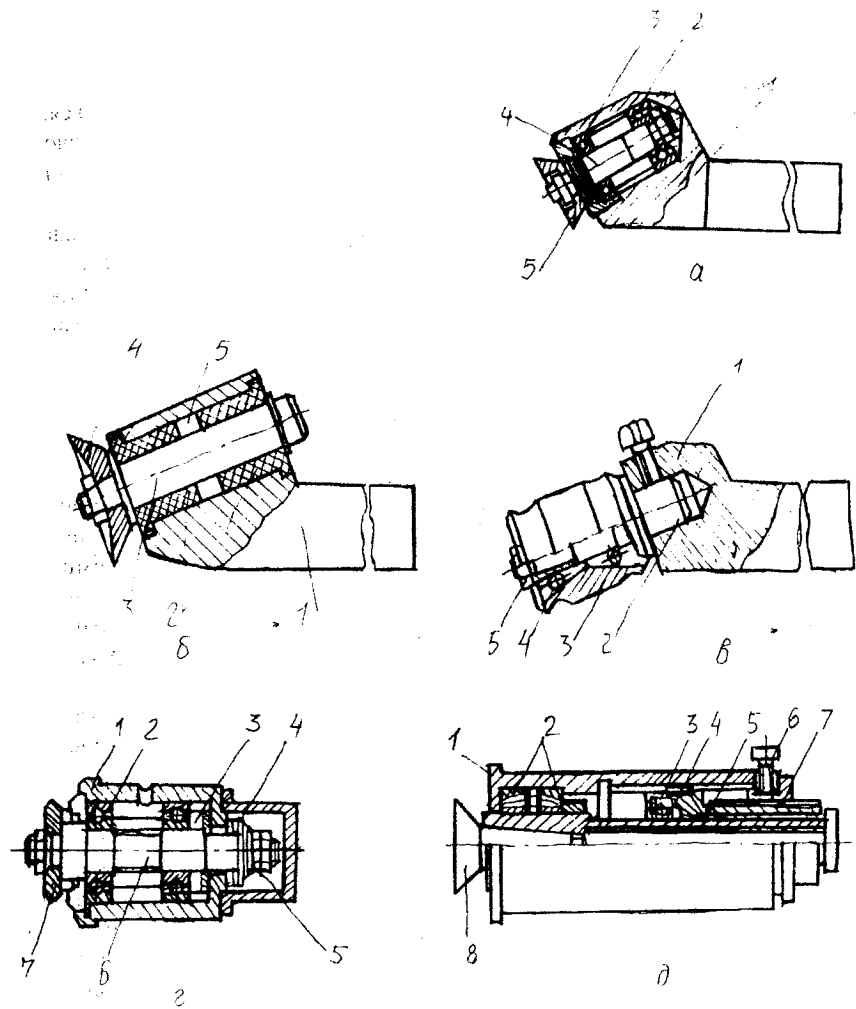


Рисунок 3.1-Конструктивні схеми ротaційних рiзцiв

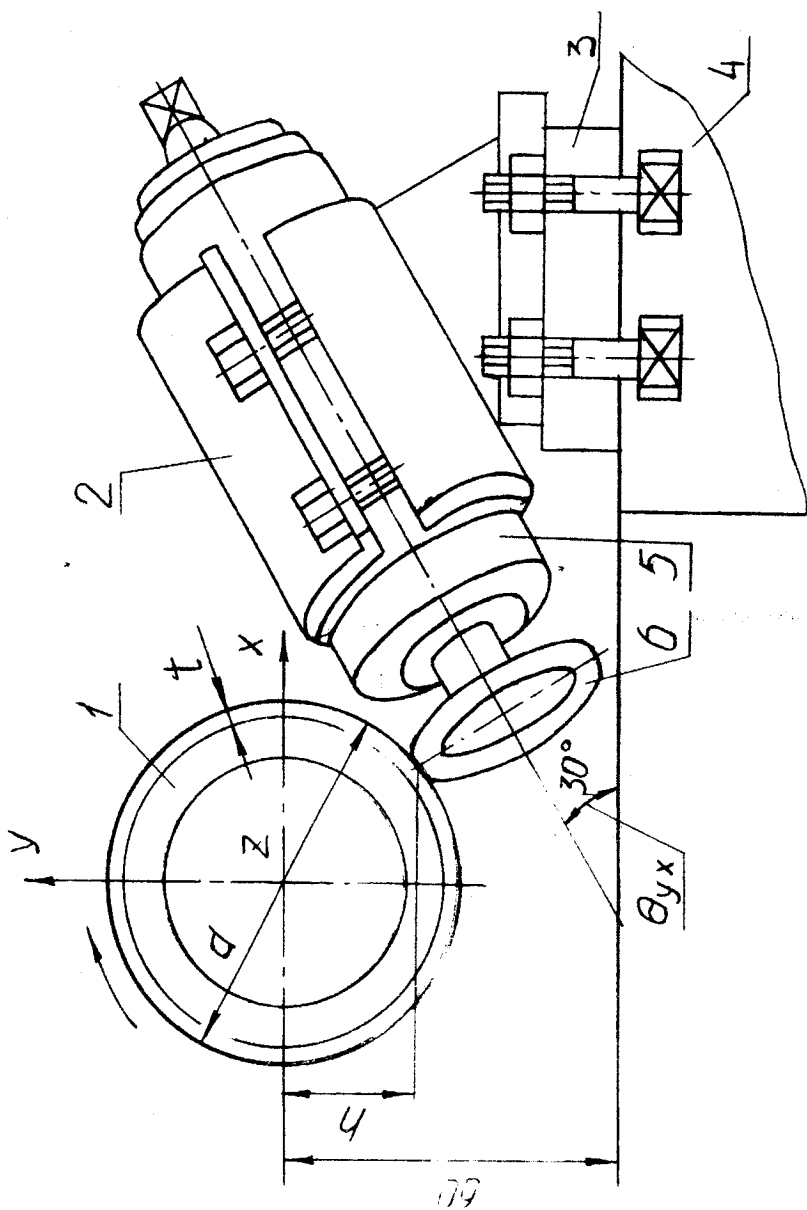


Рисунок 3.2 - Пристосування до токарного багаторізецьового напівавтомата для ротaційного точення



сталі P18  $V=1,5-2,5$  м/с,  $S=0,5-1,0$  мм/с і  $t=0,2-1,1$  мм шорсткість обробленої поверхні відповідає 6-7 класу. Стійкість інструменту при цьому складас 60 хвилин.

Широко застосовуються ротаційні різці і вставки на радіальних і упорних підшипниках (рис.3.1.г). В корпусі 1 на радіальних підшипниках 2 і упорних підшипниках 3 і 4 встановлена вісь 6. Зазор в підшипниках вибирається гайкою 5. На осі 6 закріплена чашка 7 у вигляді двох зрізаних конусів. Такі різці використовуються в електромашинобудуванні, наприклад, при обробці роторів і статорів електричних машин, у важкому машинобудуванні при обробці прокатних валів тощо.

Для важких робіт призначений ротаційний різець, представлений на рис.3.1.д [3]. Він має корпус 1, в якому установлений на конічних роликпідшипниках 2 і радіальному підшипникові 4 повзуна 3 шпindelь 5. В шпинделі закріплена вставка з чашкою 8. Повзун з підшипником може переміщуватися вздовж корпусу при обертанні гайки 7, нагвинченої на його різьбовий кінець. Гайка 7 зафіксована відносно корпусу втулкою зі стопорним гвинтом 6. Переміщення повзуна 4 змінює відстань між опорами шпинделя і дає можливість регулювати жорсткість і частоту власних коливань ротаційного різця, що підвищує його вібростійкість. Така конструкція рекомендується для обробки статорів електродвигунів і електромашин.

На Полоцькому авторемонтному заводі для чорнової обробки вилівок гільз для автомобільних двигунів використовують ротаційне точіння круглими самообертливими різцями на токарному багаторізцевому напівавтоматі моделі 1Н713 [4].

При такому встановленні зменшується радіальний тиск супорта і похибка обробки, підвищується плавність переміщення супорта в процесі різання. Це пояснюється тим, що зміщення вершини різця змінює напрямок результуючої сили різання відносно координатної системи верстата.

На плиті 3 пристосування (рис.3.2), нерухомо закріпленій на поперечному супорті 4 верстата, встановлений кронштейн 2, що несе шпindelний вузол 5 з ротаційним різцем 6. Кронштейн може повертатися на плиті на кут  $30^\circ$  при встановленні різця в горизонтальній площині. Шпindelний вузол може переміщуватися в кронштейні вздовж своєї осі, розміщеної під кутом  $30^\circ$  до основної плити. Цим переміщенням настроюється зміщення вершини різця  $h$  відносно лінії центрів верстата. Заготовку закріплюють в рифлених центрах.

Стандартні круглі ріжучі пластини значно відрізняються за геометричними параметрами від ротаційних різців і підлягають переточенню для сформування передньої і задньої конічних поверхонь. Ефективне і якісне підточування, що скорочує витрати абразивних кругів, використовується на електрохімічних верстатах.

Експериментально встановлено, що для ротаційного точіння гільз на верстаті моделі 1Н713 круглими різцями діаметром 30...45 мм

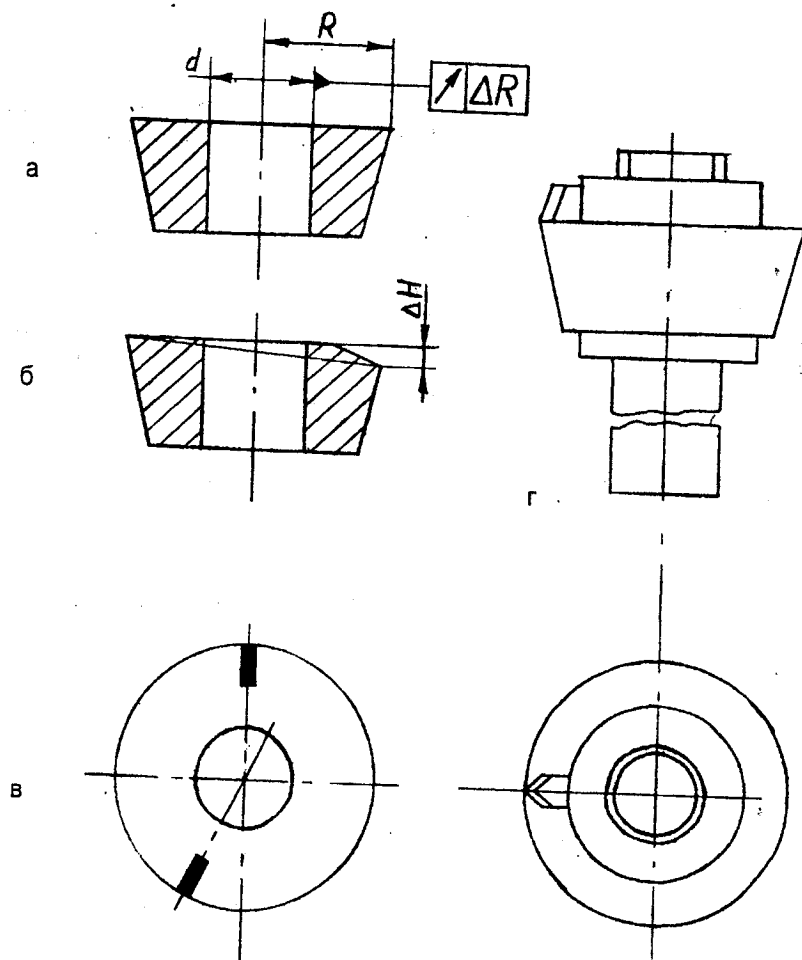


Рисунок 3.3 - Конструктивні елементи для подріблення стружки

рекомендується зміщення вершини різця нижче осі центрів на  $h=15...20$  мм (див.рис.3.3). При цьому забезпечується вібростійкість переміщення повздовжнього супорта у всьому діапазоні частот обертання шпинделя і швидкості подачі, що використовується при точінні гільз, а також надійне механічне кріплення ріжучої пластини до оправки. Виключається контакт елементів кріплення з заготовкою.

Рекомендований кут повороту кронштейна  $\Theta_{ZY}=25...30^{\circ}$ , але при більшій глибині різання кут  $\Theta_{ZY}$  повинен бути більший. Якщо  $h=10...25$  мм, то передній і задній кути підточування  $\gamma_3$  ріжучої частини можуть бути визначені за формулами:

$$\gamma_3=30+120h/d; \quad (11)$$

$$\alpha_3=25+120h/d \quad (12)$$

Наприклад, при діаметрі заготовки  $d=90$  мм і  $h=15$  мм кути пластини в підточенні складають:  $\gamma_3=50^{\circ}$  і  $\alpha_3=45^{\circ}$ . Ширина фаски  $f=0,1$  мм, передній кут фаски  $\gamma_f=0^{\circ}$ .

Зношування ріжучої пластини відбувається переважно по задній поверхні у вигляді фаски і плавного закріплення ріжучої кромки між передньою і задньою поверхнями. Із збільшенням ширини фаски і радіуса закруглення ріжучої кромки зростають сили різання і відтяжка супорта, що ускладнюють обробку.

При ротаційному точінні гільз на ріжучій кромці пластини слідів зношування практично немає, тому що є незначні сліди взаємодії її з кіркою і відбіленим шаром. При обробці стандартним різцем в зоні контакту ріжучої пластини з відбіленим шаром має місце інтенсивне зношування, що призводить до її викришування і поломки. Ротаційні різці мають істотні переваги в порівнянні з призматичними при обробці вилівок гільз, в тому числі з відбіленим шаром. Навіть при втраті ріжучої здатності у ротаційного різця не спостерігається характерного для призматичних різців зношування ріжучої частини. Тому допустиме зношування ротаційних різців потрібно оцінювати ріжучою здатністю.

На стійкість ротаційних різців при чорновому точінні гільз швидкість різання впливає значно більше, ніж подача, тому інтенсифікувати обробку слід, в першу чергу, за рахунок збільшення подачі. В зв'язку з цим реалізований і рекомендується такий режим точіння чавунних гільз: частота обертання заготовки  $315...400$  хв<sup>-1</sup>; швидкість різання  $80...90$  м/хв; глибина різання 2 мм. Матеріал різця – твердий сплав ВК6, ВК8.

Застосування ротаційного точіння для чорнкової обробки чавунних гільз автомобільних двигунів дало можливість в два рази збільшити продуктивність на цій операції. Одночасно досягнуто підвищення стійкості інструмента в 2-3 рази при обробці гільз із відбіленим шаром.

Особливо ефективне застосування ротаційних різців при обробці

деталей з плавним переходом, наприклад, залізничних коліс. Точіння коліс виконується на спеціальному карусельному верстаті моделі 1Б502. Режими: швидкість різання 86-90 м/хв, подача 0.6-0.7 мм/об, зміна глибини різання 4-12 мм, матеріал ріжучої пластини – твердий сплав Т14К6. Висока міцність оброблюваного матеріалу ( $\sigma_B=800\text{МПа}$ ) і велика протяжність оброблюваної поверхні несприятливі для використання звичайних різців, навіть із високоміцних твердих сплавів. Радіусні спряження оброблених поверхонь потребують застосування круглих ріжучих пластин.

Для операції перервного точіння важкооброблених матеріалів у НДІ інструменту були розроблені різці з чашкою на опорах ковзання, що обертаються (див.рис.3.1.6). В конструкції передбачені можливості підведення змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР) в зону різання і змащування до опор різця. При обробці сталі Е1787 різці забезпечують підвищення продуктивності в 6-7 разів, із сталі Е1661 – в два рази при глибині різання 1-4 мм і швидкості різання до 12 м/хв (0.2 м/с). Ріжучі частини різців виконувались також із сталей Р14Ф4, Р18Ф. Стійкість різців при  $V=0,13\text{ м/с}$  досягла 300 хв, а при  $V=0,2\text{ м/с}$  – 240 хв. Діаметр ріжучої частини вибирався в межах 14-18 мм з кутом конічної фаски в передній грані  $\gamma_3=27^\circ$ , при глибині різання  $t \geq 2\text{ мм}$  рекомендується чашка конічної форми із кутом  $10-15^\circ$  і фаскою  $=15-20^\circ$ .

Порівняння стійкості призматичного і ротаційного інструменту при перервному точінні показало більші переваги останнього, особливо зі збільшенням швидкості різання і твердості оброблюваного матеріалу.

Найбільш при перервному точінні нетермооброблених матеріалів використовуються тверді сплави Т15К6, а термооброблених сталей і важкооброблених матеріалів – сплави ВК6, ВК8. При виготовленні ротаційного інструменту для перервного різання необхідно враховувати параметри жорсткості, вводити в конструкцію елементи, що підвищують демпфувальні властивості різця. Такими елементами можуть бути динамічні віброгасники, пружні прокладки і вставки (див.рис.3.1.6).

Одним із способів, який може забезпечити більш продуктивну обробку жаростійких і високоміцних сталей і сплавів, є “флоу-піллінг” – спосіб відшарування (див.рис.1.1.в). Він здійснюється роликками, що мають конічну поверхню. Вісь ролика розташована в площині осі заготовки під кутом, що утворює передній і задній кути різання.

Формоутворення відшарування здійснюється при поступальному русі роликів, що обертаються вздовж твірної обробленої поверхні заготовки. До дотику з заготовкою обертання інструмента здійснюється від окремого приводу, після дотику заготовки сили тертя в зоні контакту передають роликкам обертання, і привід відключається. Осьове переміщення ролика приводить до зсуву металу і утворює свого роду обичайки. Коли сумарна накопичена деформація зміщеного металу перебільшить допустиму величину напруги зсуву, обичайка руйнується і починає відділятися стружка. Кількість стружок, їх ширина і направлення зсуву залежить від лінії розриву.

що з'являється у металі в результаті руйнування обичайки, від фізико-механічних властивостей оброблюваного металу, геометричних параметрів роликів і режиму обробки.

Продуктивність обробки будь-яким інструментом визначається його здатністю протидіяти зношуванню робочих поверхонь під дією сил тертя і тепловиділення. Останнє (при інших рівних умовах) залежить, головним чином, від швидкості відносного переміщення робочої кромки ролика, а зношування – від тривалості його контакту робочої поверхні з заготовкою (тобто від шляху робочої кромки інструмента в оброблюваному матеріалі).

Найбільша швидкість відносного переміщення точок робочої кромки ролика по дузі контакту в багато разів менша лінійної швидкості на периферії заготовки. Це дозволяє вести обробку із значно більшим числом обертів заготовки, ніж при точінні. Так, наприклад, точіння виливок діаметром 300 мм із сплаву EI ( $t=6$  мм) виконується зі швидкістю 27 м/хв ( $n=95$  об/хв), а відшарування – зі швидкістю 540 м/хв ( $n=190$  об/хв). Хвилинна подача складає при точінні 12 м/хв ( $S=1,3$  мм/об) (дані заводу "Електросталь"), а при відшаруванні – 94 м/хв ( $S=0,5$  мм/об) (експериментальні дані ЕНІМСа). Таким чином, хвилинні подачі при відшаруванні приблизно в 7 разів більші, ніж при точінні; стійкість інструменту для відшарування на два порядки більша, ніж стійкість прохідного різця. Процес призначений в основному для чорнової і напівчистої обробки. Щоб виключити можливість дотику робочої кромки з кіркою заготовки діаметр ролика повинен бути рівний 
$$d \leq \frac{t \cdot (d_0 + t)}{s}$$
,

де  $d_0$  – діаметр оброблюваної поверхні.

Верстат моделі МА1809, для відшарування, виготовлений на Коломенському заводі важких верстатів за проектами ЕКБ МСіП і ЕНІМСа. Два протилежно розміщених ролики закріплені на шпинделях роликів головок, змонтованих на рухомій каретці, що рухається вздовж оброблюваної поверхні. Роликові головки мають ручне і автоматичне встановлювальне переміщення. На них змонтований механізм, що забезпечує синхронне обертання роликів і заготовок. Верстат працює в напівавтоматичному циклі і забезпечений пристроєм для завантаження і вивантаження заготовок.

### Основні дані верстата моделі МА1809

Розмір оброблюваного виливка, мм:

діаметр.....	130-280
довжина.....	400-1100
Діаметр роликів, мм.....	250-400
Частота обертання шпинделя виробу, об/хв.....	20-400
Частота обертання шпинделів роликів головок, об/хв.....	20-250
Повздовжня подача, мм/хв.....	20-800
Осьова сила, кН.....	до 600

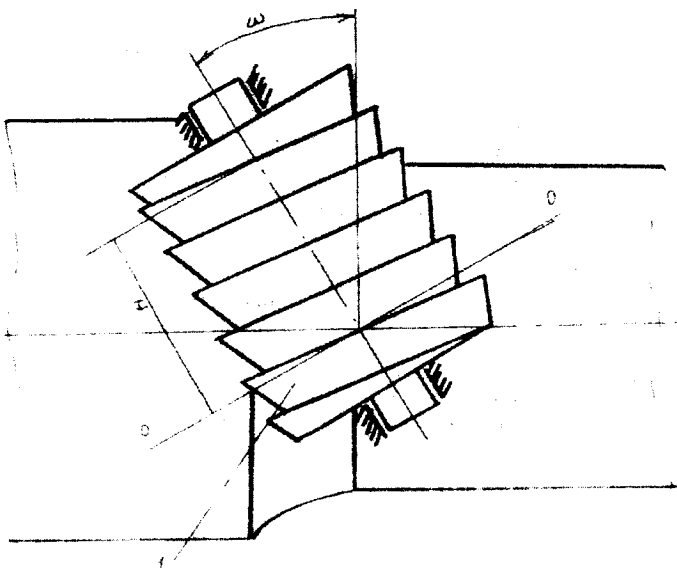
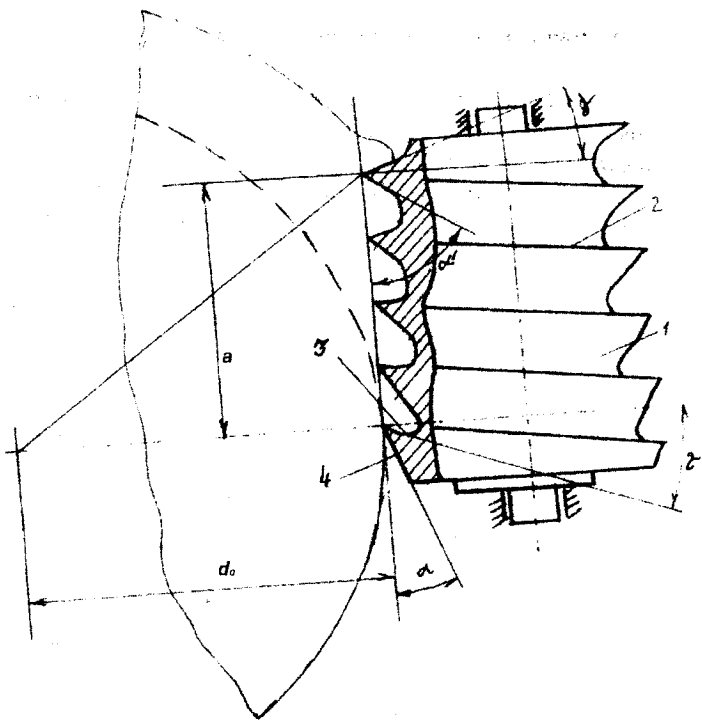


Рисунок 5.4 – Профиль зуба в виде трапеции

Потужність головного приводу, кВт .....	70
Маса веретата, т.....	40

### 3.2 Методи подрібнення стружки при обробці ротатійними різцями

При різанні ротатійним різцем необхідність подрібнення стружки обумовлена утворенням зливної стружки, яка виникає навіть при тих умовах різання, при яких звичайні різці дають її подрібнення.

Процес різання для точок ріжучої кромки ротатійного різця є періодичним, що і може бути використано для кінематичного подрібнення стружки.

При порушенні осьової симетрії ріжучої кромки різця і при кожному його обертанні буде змінюватись площа зрізуваного шару або ступінь деформування стружки.

У випадку, коли центр ріжучої кромки різця, що обертається, зміщується відносно осі обертання до радіального биття  $\Delta R > a_R$  (рис.3.3.а), для стійкого подрібнення стружки необхідний зсув на  $180^\circ$  по кутовому положенні ексцентриситету в сусідніх проходах.

При сбіганні фаз в сусідніх проходах поверхні зсуву будуть розташовуватися еквідистантно без зміщення площини зрізу, тобто без подрібнення стружки. Таке явище спостерігається, якщо при точінні за один оберт заготовки різець робить ціле число обертів.

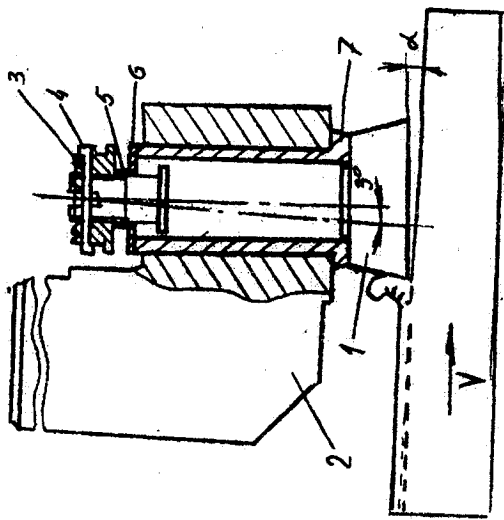
Подрібнення стружки можна здійснювати, якщо на різці по передній поверхні під кутом зрізати частину ріжучої кромки, що створює торцеве биття  $\Delta H$  (рис.3.3.б). Таке змінення різця забезпечує подрібнення стружки при більш довільному співвідношенні  $R, R_n$ , де  $\lambda$  не ускладнює переточування різця.

Найбільш просто подрібнення стружки досягається у випадку, коли ріжуча кромка на передній поверхні розсікається радіальною канавкою глибиною 1,5-2 мм. Довжина канавки повинна бути більша довжини контакту зі стружкою (рис.3.3.в).

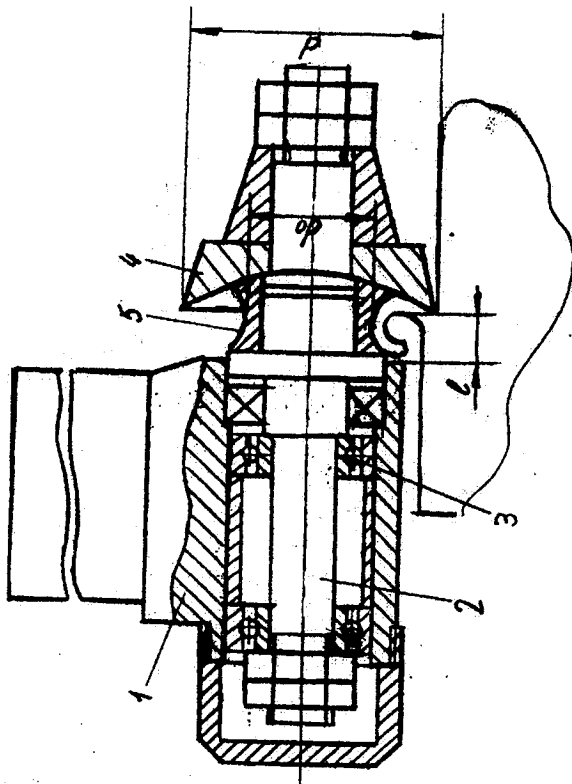
При кожному оберті такого різця утворюється стружка у вигляді незамкнутого кільця, діаметр якого трохи більше діаметра ріжучої кромки. Недоліком цього способу є дещо підвищене зношування кромки по краю канавки і залишаються сліди канавки на деталі.

Доцільно робити дві канавки. На практиці існують ще і механічні способи подрібнення стружки, коли стружка може бути розсічена у процесі її формування спеціальними ножами, які розташовані на передній поверхні різця і обертаються разом із ними (рис.3.3.г).

Одним із способів подрібнення стружки є використання різців, що вільно обертаються, з гвинтовою ріжучою кромкою (рис.3.4.а,б). Цей спосіб доцільно використовувати при зніманні великих припусків.



а



б

Рисунок 3.5 - Стругальні різи



На рис.3.4,а – схема встановлення різця в процесі обробки. Різець 1 має в осьовому перерізі змінний по довжині ріжучого лева 2 нахил передньої 3 і задньої 4 поверхонь.

Конструкції з одною чи двома ріжучими кромками не дозволяють знімати великі припуски. Вирішенням цієї проблеми є використання багатолезових різців, що обертаються. Лева таких різців виконані по гвинтовій лінії. Істотними недоліками цієї конструкції є виникнення при роботі вібрацій в результаті неоптимальності передніх і задніх кутів, які є постійними по всій довжині ріжучої кромки. Результатом цього є зниження стійкості дорогого інструменту і погіршення якості обробки. Ця проблема вирішується за рахунок використання різця зі змінним по довжині гвинтової лінії переднім та заднім кутами (рис. 3.4 , а).

На рисунку 3.4,а видно принцип, за допомогою якого адаптуються кути  $\gamma$ ,  $\alpha$  в залежності від відстані ріжучої кромки і від лінії центрів ( $\beta = \text{const}$ ) і розподілення припуску між зубцями. Кожний зуб має свій припуск, в результаті чого з'являється можливість зняти великі припуски (до 3-5 мм) за один прохід і отримати якісну поверхню.

### 3.3 Стругальні різці

Стругальні різці через ударне навантаження виконують масивними і жорсткими із більш в'язких інструментальних матеріалів. Добре зарекомендували себе ротатійні різці для чистового стругання площин крупногабаритних деталей. Розроблений на початку 60-х років у НДІ інструменту ротатійний стругальний різець забезпечував обробку сталевих і чавунних деталей площею до 30 м<sup>2</sup> без переточування. Різець (рис. 3.5.а) з чашкою із швидкоріжучої сталі чи твердого сплаву Т5К10 встановлюється циліндричним хвостовиком в бронзовій втулці 7, яка запресована в тримачі 2. Різець 1 через пружину 5 і шайбу 6 притискається до торця втулки гайкою 3, що фіксується шплінтом 4. Шайба закриває порожнину з мастилом за хвостовиком чашкового різця, для утворення заднього кута  $\alpha$  вісь отвору в тримачі нахилена під кутом 3°. Крім того, тримач повертається разом з різцетримачем супорта верстака на кут  $\lambda = 5^{\circ} - 5^{\circ}30'$  в площині, перпендикулярній до напрямку головного руху. Цей поворот забезпечує направлене відведення стружки.

Стругання конусною поверхнею чашки використовується для чистових операцій. Встановлення чашки під невеликим кутом  $\alpha$  до оброблюваної поверхні зводить до мінімуму висоту дуги контакту, вимірну нормально до поверхні, тобто геометричну шорсткість:

$$H = R - \sqrt{R^2 - \frac{b^2}{4}} \quad (13)$$

Розрахунки показують, що при радіусі чашки  $R=30\text{мм}$  і ширині контакту  $b=15\text{ мм}$  ( $\alpha=3^0$ ) геометрична шорсткість буде дорівнювати  $H_{\text{max}}=0,05\text{мм}$ . При звичайних режимах стругання ширина зрізу не перевищує  $5\text{мм}$  і для цих умов  $H=0,01\text{мм}$ .

Для чорнових робіт по окалині, литій кірці і т.п. застосовується пряма схема встановлення ротаційного різця, поверненого до напрямку швидкості різання торовою поверхнею чашки (рис.3.5.6) [7]. В тримачі 1 встановлена на осі 2, що має опори кочення 3, чашка 4. Для покращення відведення стружки перед чашкою розміщений стружколом 5 у вигляді втулки. Розміщення чашки за опорною поверхнею різцетримача за схемою "півникового" різця не дозволяє їй "забиватися" в оброблювану поверхню під дією великих сил різання -  $800\text{ Н}$  і більше.

На Челябінському трубопрокатному заводі для підготовки кромки і одержання точної ширини листів в автоматичну лінію вбудований спеціальний кромкостругальний верстат мод. МС-710, на якому встановлені одночасно 66 різців, по 33 з кожної сторони. Одна з причин, що знижує продуктивність кромкостругальних верстатів, - передчасний вихід різців з ладу. Це викликано тим, що лист має допуск  $40\text{мм}$  з врахуванням криволінійності кромки (серповидності). При струганні кромки першими різцями товщина зрізу зростає до  $20\text{-}30\text{мм}$  замість розрахункових  $0,3\text{-}0,4\text{мм}$ , через що різко збільшуються навантаження, яких різець не витримує. В результаті відбувається лавинний вихід з ладу всіх встановлених на верстаті різців.

Для підвищення продуктивності автоматичної лінії і уникнення браку було запропоновано стругати кромки листів роликowymi різцями, що обертаються (РОР). Експерименти показали, що різцями, які обертаються можна зрізати шар, рівний глибині різання -  $8\text{-}12\text{мм}$ . В процесі дослідів була вибрана оптимальна геометрія загострення РОР: передній кут  $\gamma=20^0$ , задній -  $\alpha=0^0$ , діаметр ріжучої кромки -  $130\text{мм}$ . З врахуванням розвороту на верстаті передній кут встановлення  $\gamma=17^0$ , задній кут  $\alpha=3^0$ , кут нахилу ріжучої кромки за рахунок зміщення центру РОР відносно листа  $\lambda=28^0$ . Такий кут нахилу ріжучої кромки забезпечує великий крутильний момент і стабільне обертання РОР.

Ротаційні різці використовуються і для стругання циліндричних поверхонь при зворотно-поступальному русі супорта і повільному обертанні заготовки з коловою подачею. При такому способі гребінці формуються в поперечному перерізі деталі, і крок їх дорівнює коловій подачі на подвійний хід різця. Величина шорсткості визначається, як і при токарному обробленні ротаційним різцем, в повздовжньому напрямку (див. рис.2.1.а).

При струганні циліндричної поверхні чашковим різцем, торець якого паралельний осі деталі, різання можливе при прямому і зворотному

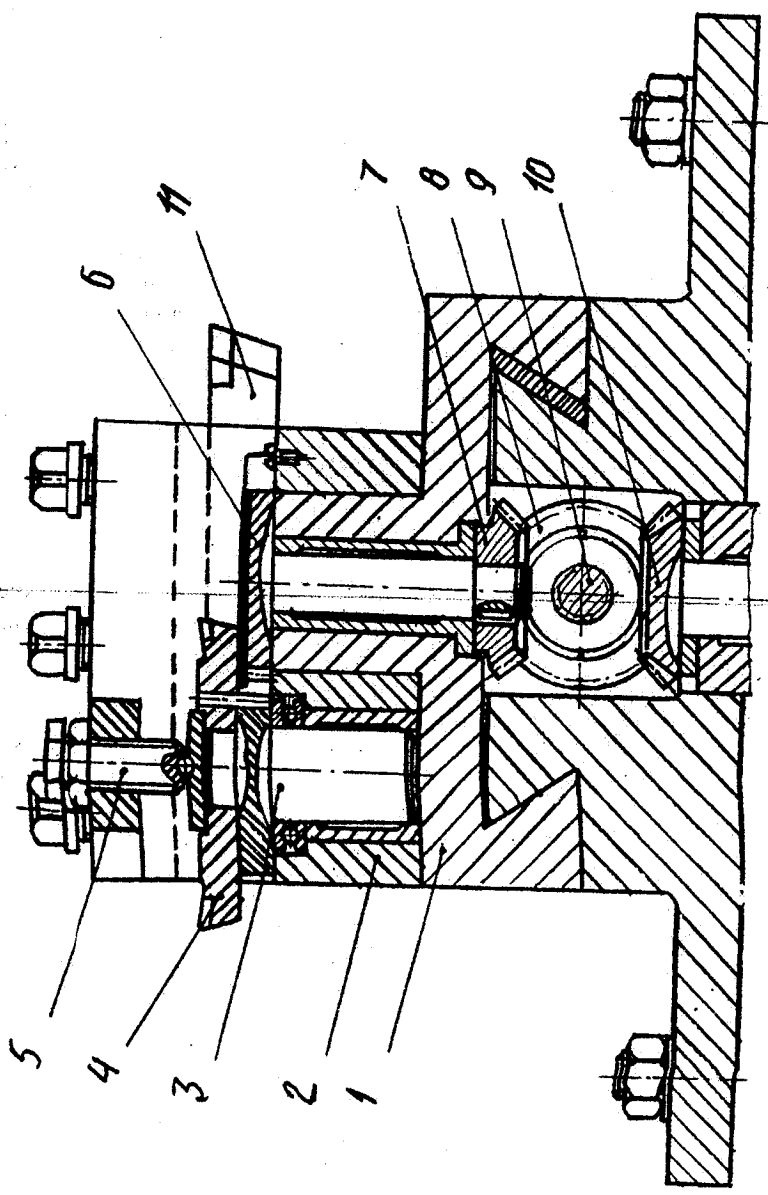


Рисунок 3.6 - Модернізація різцетримача верстату моделі 1М63

ході різця. У цьому випадку продуктивність в 1,5-1,8 разу вища, ніж при односторонньому перерізі деталі внаслідок огинання циліндра прямими лініями, а не дугами кола. Режими стругання конструкційних середньо вуглецевих сталей: швидкість 40-60 м/хв; подача колова 5-8 мм на подвійний хід. Стругання може здійснюватися як при періодичному, так і при безперервному обертанні деталі. В останньому випадку сліди різців являють собою гвинтові лінії, кут нахилу яких визначається величиною  $\omega = \arctg(v_t/v_c)$ , де  $v_t$  - швидкість обертання деталі;  $v_c$  - швидкість повздовжнього ходу різця. В міру зростання швидкості обертання деталі токарне стругання переходить в ротаційне точіння чи в точіння [8] відшаруванням (див. рис. 1.1, в).

В ряді випадків для обертання багатолезового різця від приводу подач верстата доцільно користувалися відбором потужності з близького до різцетримача вала. Вимогам компактності відповідає просте обладнання, влаштоване в супорт токарного верстата мод. 1М63 (рис.3.6). На циліндричній цапфі А поперечного супорта 1 знаходиться різцетримач 2, в якому встановлений вал-шестерня 3 (на опорі ковзання і упорному підшипникові кочення). На вал шестерні кріпиться багатолезовий різець 4 і додатково підтискається гвинтом 5 через кульку до опорної поверхні. Таке виконання забезпечує високу жорсткість і вібростійкість різця. Привід обертання включає вал-шестерню 7, встановлену на другому кінці вала, і знаходиться в зачепленні з ведучою конічною шестернею 8 гвинта поперечної подачі 9. При передачі обертання на різець кулачкова муфта в приводі гвинта поперечної подачі розмикає гвинт 9 від конічної шестерні 8, яка обертається від конічної шестерні 10 вхідного вала фартуха верстата. В різцетримачі 2 передбачені пази для встановлення нерухомих різців 11. Обладнання відрізняється простотою, коротким кінематичним ланцюгом і високою жорсткістю. Демонтаж обладнання і встановлення нормалізованого різцетримача не перевищує 30 хв.

### 3.4 Проектування токарних і стругальних різців

При проектуванні самообертючих різців, в тому числі і токарних, необхідно знайти оптимальне рішення для такої групи запитань:

- вибір форми і розмірів обертової частини різця;
- використання стандартних форм твердосплавних ріжучих пластинок;
- одержання мінімальної маси ріжучої пластинки і вибір способів її кріплення;
- забезпечення простоти заміни обертової частини різця, бажано без підналагоджування;
- вибір радіальних і осьових підшипників;
- одержання мінімальних габаритів інструментів;
- забезпечення достатньої жорсткості інструменту;

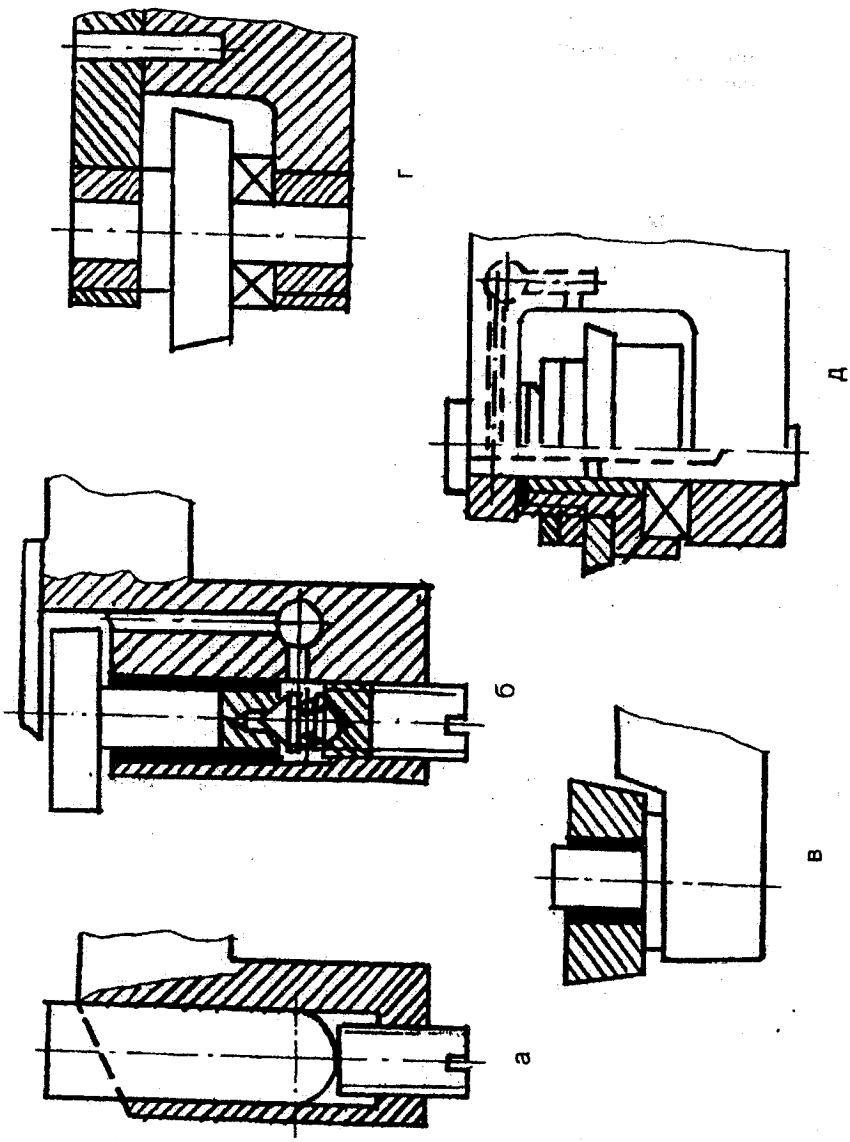


Рисунок 3.7 - Схеми ротатійних різців

- організація змащування і охолодження підшипників і ріжучої частини різця;
- можливість зняття мінімального припуску за один прохід;
- забезпечення простоти конструкції, дешевизни при виготовленні і експлуатації, уніфікації її деталей і ін.

Узагальнюючи існуючі відомості про токарні різці, виконані за першою схемою, можна їх конструкції звести до двох варіантів (рис. 3.7).

До першого варіанта відносяться конструкції інструментів, у яких ріжуча частина з віссю обертання закріплена в одній напівжорсткій опорі. Назвемо їх інструментами з консольною схемою кріплення ріжучої частини, подібно до балки з однією опорою. До вказаного варіанта відносяться інструменти, ріжуча частина яких виконана у вигляді циліндра. Бокова поверхня цього циліндра одночасно є задньою поверхнею різця з радіальною опорою ковзання (рис. 3.7а). Роль опорного торцевого підшипника виконує кулька чи тіло різця, оформлене сферою з опорою на плоску п'ятку. Переточування різця виконується тільки з торця, до одержання гострої кромки по периферії циліндра. Недолік цієї схеми - великий коефіцієнт тертя опори.

До першого варіанта відноситься конструктивна схема, у якій ріжуча частина виконана у вигляді "грибка" (рис. 3.7,б). Вказана схема дозволяє збільшити радіус ріжучої кромки і застосувати опорні стандартні підшипники [12, 13, 14], що мають здатність до самовстановлення, а це різко знижує приведений коефіцієнт тертя опори різця. Надійність і зносостійкість різця підвищується, якщо за рахунок підбору ЗОР організувати стійке охолодження і змащування ріжучої частини і підшипників, крім цього, ріжучу кромку необхідно захистити екраном від потрапляння стружки зі сторони врізання.

Для описаних схем (рис. 3.7, а і б) спільним є те, що ріжуча частина різця виконана спільно з віссю обертання.

Конструктивна схема, приведена на рис. 3.7в, також відноситься до першого варіанта. Відрізняється вона від перших двох схем тим, що ріжуча частина виконується окремо від осі обертання. До недоліку цієї схеми можна віднести малу поперечну стійкість через малу висоту різця, що може викликати перекоси і заклинювання самообертючих різців. До переваг першого варіанта конструктивних схем можна віднести досить просту заміну ріжучих елементів.

До другого варіанта відносяться конструктивні схеми, у яких ріжуча частина кріпиться з віссю на двох опорах, тобто являє собою схему кріплення балки на двох жорстких опорах.

На рис. 3.7,г показано конструктивну схему, у якій суцільна ріжуча частина круглого різця розміщена між опорами. Ця схема дозволяє підвищити жорсткість різцевого вузла, але одночасно ускладнюється конструкція інструмента.

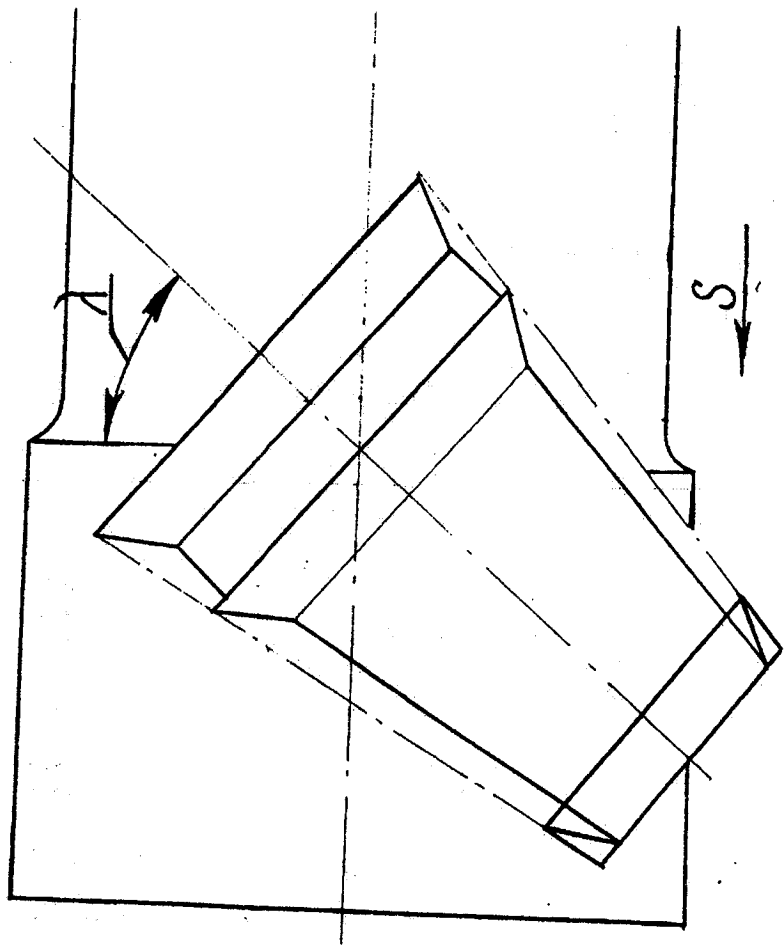


Рисунок 3.8 - Схема різця з блока ріжучих кромки

Наведена на рис.3.7,д конструктивна схема відноситься до другого варіанта і є розвитком схеми, зображеної на рис.3.7,г. Відмінність її полягає в тому, що ріжуча частина виконується збірною конструкцією. Перевага другого варіанта над першим полягає в підвищенні жорсткості різевого вузла, але зате ускладнюється його конструкція і заміна.

Представляють практичний інтерес інструменти, у яких ріжуча частина виконана багатолезовою.

Із збільшенням числа ріжучих кромок  $Z$  і зменшенням  $t_z$  з'являються можливості застосування кутів  $\lambda=50-75^\circ$  і зменшення радіуса ріжучої кромки  $R$ . Перша спроба створення схеми багатолезового токарного різця була зроблена Б.Ф. Петропавловським [15]. Він запропонував самообертотий різець у вигляді блока ріжучих кромок, встановлених за схемою зворотного різання; при цьому найбільші радіуси ріжучих кромок розміщувались зі сторони обробленої поверхні і найменші - зі сторони оброблюваної поверхні (рис.3.8).

Однак в запропонованій схемі не врахована умова спільного обертання ріжучих кромок з різними радіусами. Оскільки із зменшенням радіуса оброблюваної деталі  $R$  знижується швидкість  $V$ , то для оптимального обертання кожної кромки при єдиній частоті обертання блока необхідна корекція радіусів ріжучих кромок. Результати досліджень показали, якщо такої корекції немає, то оптимальна частота встановлюється по середній ріжучій кромці, а крайні працюють чи з гальмуванням ( $-\Delta V_0$ ), чи з обгоном ( $+\Delta V_0$ ). Взаємне гальмування ріжучих кромок  $\Delta V_0$  пов'язане з різною величиною радіусів  $R$  ріжучих кромок (див.рис.2.3.), оцінимо приведенний коефіцієнт тертя для циліндричного багатолезового різця:

$$tg\Delta\lambda = \frac{\Delta V_0}{V \cdot \cos \lambda} = \frac{t \cdot tg\lambda}{2} = \mu_{ZY} \quad (14)$$

Для кінчного багатолезового різця (рис.3.8) маємо:

$$\mu_{ZK} = tg\lambda \cdot \left( \frac{R_{\max}}{R_{CP}} \cdot \frac{R_{UCP}}{R_{U\min}} - 1 \right) \quad (15)$$

Тут з індексом "U" - радіуси оброблюваної деталі, без індексів - радіуси ріжучих кромок.

Нехай деталь ( $R_{U\max}=110\text{мм}$ ,  $R_{U\min}=100\text{мм}$ ) обробляється кінчним ( $R_{\max}=30\text{мм}$ ,  $R_{\min}=20\text{мм}$ ) і циліндричним ( $R=25\text{мм}$ ) різцями з кутом  $\lambda=60^\circ$ . В результаті розрахунку за вищезгаданю формулою  $\mu_{ZU}=0.08$  і  $\mu_{ZK}=0.22$ . Якщо ж послідовність зміни діаметрів ріжучих кромок відповідає зворотному конусу і витримує пропорційність:



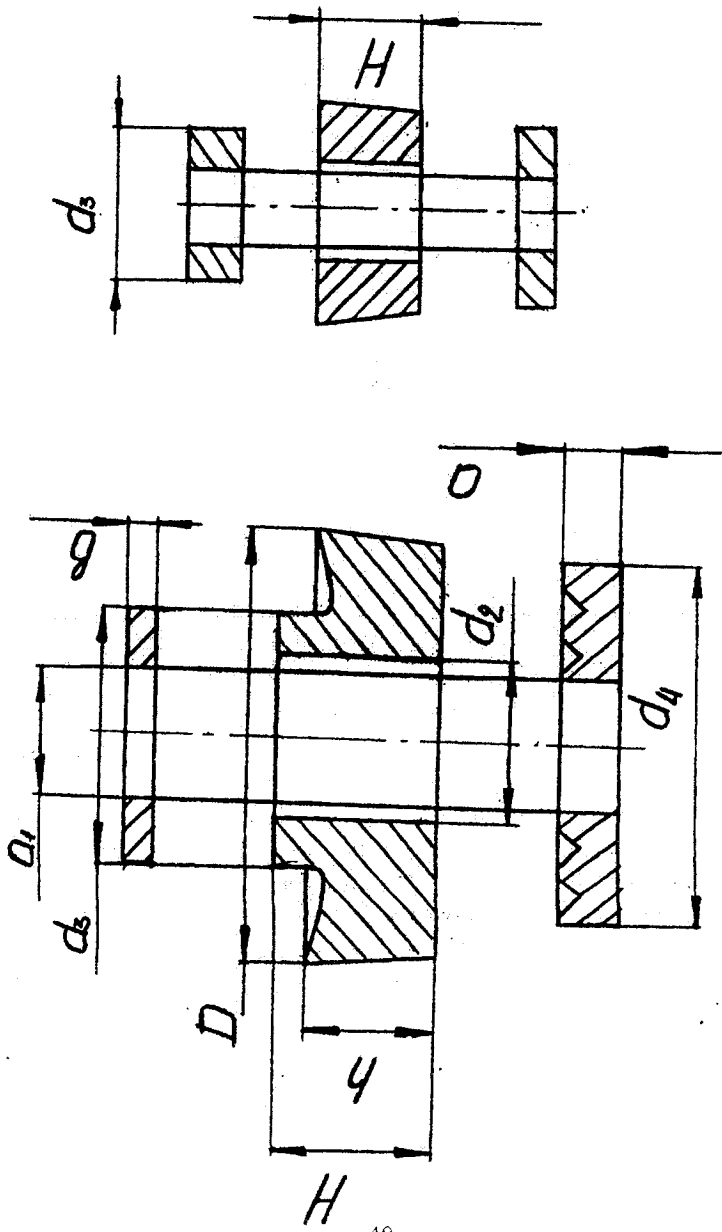


Рисунок 3.9 - Основні розміри обертової частини різця

$$\frac{R_{i,1}}{R_1} = \dots = \frac{R_{i,n}}{R_n}, \quad (16)$$

то значення коефіцієнта  $\mu_{ZK}=0$ .

Пошуки такої схеми різання, яка б забезпечувала велику глибину різання  $t$  і в той же час була б представлена на ріжучій кромці самообертового різця малим значенням  $t_2/R$ , привели до створення різця з гвинтовою ріжучою кромкою. При обертанні такого різця активна частина ріжучих кромок при кожному обороті зміщується на крок спіралі  $S_p$ , а глибина, що зрізується кожною ріжучою кромкою, залежить від подачі і кутів встановлення осі різця. При  $\lambda \approx 90^\circ$ ,  $t_2 \approx S \cdot \sin \beta_r$ .

Припускалося, що така схема різання зможе забезпечити  $i_{\max}$  завдяки великим значенням  $S_p$  і малим  $t_2$ . Однак проведені експериментальні дослідження різців ( $Z=7$ ,  $R=20$ мм,  $S_p=7$ мм) з гвинтовими ріжучими кромками лівого і правого обертання в порівнянні з багатолезовим різцем і кільцевими ріжучими кромками показали, що фактична форма перерізу зрізу у цих трьох різців однакова. Єдина поки що перевага різця із спільною ріжучою кромкою над багатолезовим кільцевим - це автоматичне подрібнення стружки.

Конструкції самообертових різців можуть удосконалюватися безперервно, але, щоб впорядкувати цю діяльність, слід уніфікувати основні елементи різців і нормалізувати їх розміри. Як приклад розглянуто просту конструкцію обертової частини різця (рис.3.9) з врахуванням встановлення її на консольну (рис.2.4) і двоопорну осі (рис.3.7, д).

Основний розмір різця – діаметр кругової ріжучої кромки  $D=2R$  приймаємо із другого ряду переважних чисел ( $R_{10}$ ) за ГОСТ 8032-86; 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 60 і 80 мм. Для малих різців з  $D=12$  і 16 мм розмір  $H=h$ . Необхідний простір для стружки при дво опорному кріпленні осі забезпечується збільшенням висоти верхньої шайби рис. 3.9. Ряд типорозмірів різців наведений в табл.1.

Таблиця 3.1 - Розміри уніфікованої конструкції обертової частини різця, мм

D	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	H	h	d <sub>4</sub>	A	B	(b+H+a)
12	4	5	8	6	–	10	2	3	11
16	5	6	10	8	–	12	2	4	14
20	6	8	12	10	6	16	2,5	1,5	14
25	8	10	15	12	8	20	2,5	1,5	16
32	10	14	18	15	10	26	3	2	20
40	12	16	24	18	12	34	5	2	25
50	16	20	30	22	15	42	6	2	30
60	20	25	35	28	18	52	6	2	36
80	25	32	40	32	22	72	6	2	40

Приведений коефіцієнт тертя в опорах різця із вказаними параметрами розраховується за формулою:

$$\mu_{10} = \frac{\mu}{D} \cdot \left( \frac{D-d_4}{d_4+d_3} \cdot d_3 + \frac{D+d_3}{d_4+d_3} \cdot d_4 + \frac{P_R}{P_0} \cdot d_1 \right). \quad (17)$$

При  $\mu=0,1$  і  $P_R/P_0=0,75$  величина  $\mu_{10}$  знаходиться в межах 0,12...0,125. Критичні величини  $P_R/P_0$  знаходяться в межах 0,17...0,33 і 2,8...3,45 (для  $D \leq 16$  мм – 1,75...1,83), а встановлені дійсні співвідношення сил різання  $P_R/P_0$  – в межах 0,4...1,1, що істотно відмінні від критичних.

Таблиця 3.2 - Найбільші глибини різання  $t_{\max}$  мм, для різців

D, мм	$\lambda, \dots^{\circ}$								
	30	35	40	45	50	55	60	65	70
12	3	2,5	2	1,7	1,5	1	0,8	0,6	0,4
16	4	3,5	3	2,3	2	1,4	1	0,8	0,5
20	5	5	4,5	4	3	2,5	2	1,5	0,9
25	6	6	5,5	5	4	3	2,5	1,7	1,1
32	8	8	7	6,3	5	4	3,2	2	1,4
40	10	10	9	8	6,5	5	4	3	1,8
50	12	12	11	10	8	6,5	5	3,5	2,2
60	15	15	13	12	10	8	6	4	2,8
80	20	20	18	16	13	11	8	6	3,6

Найбільші глибини різання обмежуються швидкістю різання  $\omega \leq V$ , що відповідає  $t_{\max} = D/4$ , а також від'ємним кутом  $\gamma$ . Розрахунок граничних глибин різання  $t_{\max}$  для прямого різання з обмежуванням за максимально допустимим кутом  $\gamma$  знаходимо з формул (18) і (19).

$$\gamma = \gamma_c - \beta; \quad \alpha = \alpha_c + \beta. \quad (18)$$

$$t_{\max} = R \cdot \left( 1 - \sqrt{\frac{\operatorname{tg}^2 \lambda}{\operatorname{tg}^2 \alpha_c + \operatorname{tg}^2 \lambda}} \right). \quad (19)$$

$$t_{\max} = \frac{D}{2} \left( 1 - \sqrt{\frac{\operatorname{tg}^2 \lambda}{\operatorname{tg}^2 \cdot (\gamma_{\min} + \gamma_c) + \operatorname{tg}^2 \lambda}} \right). \quad (20)$$

Приймаємо для різців з діаметром  $D \leq 16$  мм, кути  $\gamma_{\min} = 45^{\circ}$  і  $\gamma_c = 0^{\circ}$ ; для різців з  $D \geq 20$  мм:  $\gamma_{\min} = -40^{\circ}$  і  $\gamma_c = +12^{\circ}$ . Результати розрахунку  $t_{\max}$  приведені в табл. 3.2.

Запропонований ряд типорозмірів (табл.3.2) може використовуватися і на інших видах інструментів (фрези, стругальні різці та інші).

Діаметри різців для стругальних робіт слід використовувати порівняно великі ( $D=40...80$  мм). При знятті значних припусків кут  $\lambda$  слід

вибирати в межах  $30...50^{\circ}$  з урахуванням пластичних властивостей оброблюваного матеріалу (див. табл. 3.3) і обмежувати по жорсткості верстата з врахуванням складової сили різання  $P_x$ . Для поділу припуску між ріжучими кромками вісь різця нахилється відносно площини оброблюваної поверхні на кут  $\beta$ .

При чистовому обробленні можливе використання різців з конструктивним виконанням подібно до токарних (рис. 3.7в і д).

Таблиця 3.3 - Значення усадки  $K_{ю}$  і характерних кутів  $\lambda$  для різних матеріалів

Оброблюваний матеріал	V, м/с	$K_{ю}$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_2'$	$\lambda_3$
Бронза	1,00	—	7,5	65	—	80
ВТ1	0,08	1,5	5	55	60	80
ВТ6	0,06	1,6	7,5	52	62	80
АК4-1	1,53	1,9	2,5	52	62	80
Чавун	0,67	—	2,5	45	—	80
ВНС-2	0,25	2,1	5	35	55	75
Сталь 30	0,53	2,2	2,5	32	42	80
СІ437А	0,10	2,9	2,5	25	35	75
СІ65А	0,17	3,1	2,5	25	35	75
Латунь	0,53	3,2	7,5	25	27	75
ШХ 15	0,28	3,3	5	27	25	80
Свинець	0,10	4,8	5	20	20	60
Мідь	0,52	5,8	2,5	5	17	65

Примітка. Умови різання — матеріал різця Р18,  $R=13\text{мм}$ ,  $\gamma_c=0^{\circ}$ ,  $\alpha_c=3^{\circ}$ ,  $\mu_{пр}=0.032$ ,  $S=0.52$  м/об,  $t=0.5$  мм.

## 4 Конструкції ротаційних фрез

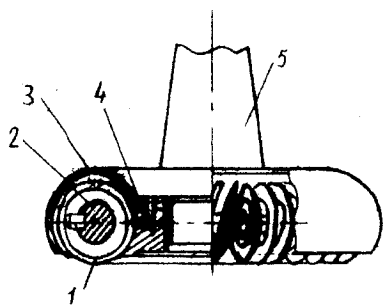
### 4.1 Особливості конструкцій

Габарити ротаційних вставок визначили конструкцію фрезерного інструменту переважно у вигляді торцевих фрез. Оригінальна за компоновкою торцева фреза з дисковими ріжучими елементами 1, що збираються, нахилена на кільцевому гнучкому елементі 2 на відстані, що забезпечує відведення стружки (рис.4.1,а) [19]. Група ріжучих вставок в зібраному виді розміщується в торцевому гнізді корпусу 3 і підтискається знизу фланцем 4. Фреза встановлюється на оправку 5. Перевагою фрези є компактність і велика кількість ріжучих елементів (30 і більше). Переважна область застосування - чистове і напівчистове фрезерування чавуну і кольорових сплавів.

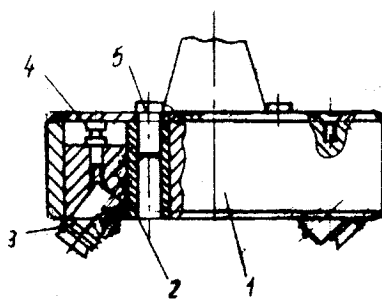
Широко застосовується конструкція універсальної ротаційної фрезерної головки, яка дозволяє в широких межах змінювати встановлений кут (рис.4.1,б). В корпусі 1 головки відповідно числу зубців встановлені втулки 2 з отворами під кутом до осі інструмента. В цих отворах закріплені різцеві вузли 3. Для передачі крутного моменту від шпинделя на фрезу служать шпонки 5. Осьовий виліт ріжучих лез налагоджується регульовальними болтами 4. Налагоджування осьового розміру різців проводиться поза фрезою, що дозволяє проводити і заміну різцевих вставок без зняття фрези з верстата. Ротаційна фрезерна головка дозволяє здійснювати ступінчасте фрезерування: припуск ділиться між різцями за глибиною різання. Кожний із різців може знімати шар металу товщиною до 2 мм, однак чим менша величина припуску на різець, тим вища ефективність чистової обробки.

Особливість розглянутої конструкції - можливість широкого регулювання вузлів встановлення вильоту різців відносно поверхні, що обробляється. Це дає можливість одним і тим же інструментом виконувати фрезерування як за прямою, так і за зворотною схемами. Можливість переналагоджування головки особливо важлива в умовах дрібносерійного виробництва.

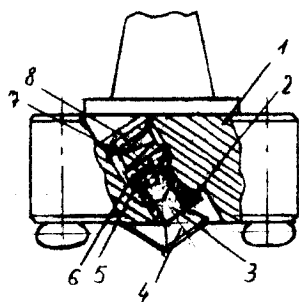
Для чорнового фрезерування використовуються, як правило, фрези з ріжучими вставками, що обертаються. При цьому прагнуть до значного спрощення ротаційних вузлів, перевага надається вузлам на підшипниках ковзання (див. рис. 3.1,б). В корпусі 1 на підшипниках ковзання 2 встановлені осі 3 з закріпленими на них чашками 4 (рис.4.1,в) [20]. На осях встановлені також гальмівні диски 5, до яких притискаються гальмівні колодки 6. Останні розміщені в отворах з напрямними пазами з можливістю переміщення і регулювання зусилля притиску. Гальмівні колодки притискаються до дисків з зусиллям, що регулюється тарувальними пружинами 7 з допомогою різьбових пробок 8 з функціональними шкалами. Гальмівний пристрій забезпечує автоматичне керування зміною ріжучої



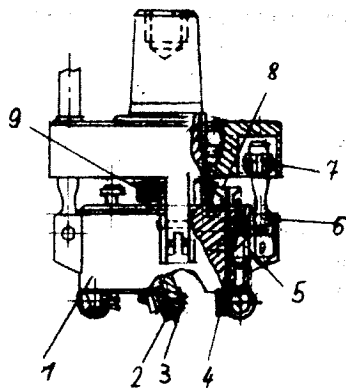
а



б



в



г

Рисунок 4.1-Ротаційні торцеві фрези

кромки за вибраним критерієм затуплення - фаскою зносу. Такі фрези забезпечують більшу високу чистоту і точність обробленої поверхні. Вони можуть використовуватися для чистового оброблення площин, замість туромісткої операції шліфування.

В торцевій фрезі з приводом ріжучих вставок (рис. 4.1,г) забезпечується їх примусовий поворот [21]. В пазах корпусу 1 фрези встановлені на пружинах тримача 3 з чашками 2. Близько опорної поверхні чашок виконано зубчастий вінець, який знаходиться в зачепленні з черв'яком 4.

На протилежному кінці черв'яка встановлена шестерня 8, призначена для взаємодії з центральним нерухомим зубчастим колесом 9. Кулачок 7, важіль 6 і клин 5 служать для періодичної фіксації і розфіксації тримачів.

Для чорнового фрезерування призначена ротаційна фреза з багатолезовими ріжучими елементами (рис.4.1,а) [20]. Фреза має корпус 1 з кронштейнами 2 за числом ріжучих вставок. Ріжучі вставки 3 кріпляться в блоках 4, що встановлюються в напрямних кронштейнів. В корпусах блоків на головних і упорних підшипниках встановлені осі з багатолезовою ріжучою вставкою 3. Можливість зміщення різцевих блоків в напрямних кронштейнів дозволяє в широких межах змінювати схему зняття припуску і об'єм матеріалу в залежності від умов різання і матеріалу, що обробляються.

Прогресивною є конструкція торцевої фрези з багатозубими ріжучими вставками, які мають ріжучі кромки з двох сторін кожного зуба (рис.4.1,б). До корпусу 1 гвинтом 2 прикріплений диск 3. В дискові з допомогою гайки 6 і шлицьового з'єднання закріплені тримачі 5, на яких встановлені інструментальні блоки, виконані у вигляді фрез 4 з двосторонніми ріжучими кромками. Фреза може працювати при будь-якому напрямку обертання, тобто дозволяє здійснити реверсивне фрезерування. Недолік конструкції - необхідність періодичного повороту інструментальних блоків.

Цього недоліку позбавлена торцева фреза з горизонтальним розміщенням гвинтових ріжучих інструментів (рис.4.1,в) [22]. В корпусі 1 на осях 2 установлені циліндричні ріжучі вставки 3 з гвинтовими ріжучими кромками 4. Вставки отримують примусове обертання за допомогою конічних 5 і циліндричних 6 зубчастих передач. Фреза забезпечує високу якість обробленої поверхні при знятті великих припусків. Можливі різні комбінації ріжучих вставок, наприклад, лезових та вигладжувальних.

За таким же принципом працює циліндрична інструментальна головка, що оснащена фрезами з планетарним приводом обертання (рис.4.1, г). Корпус 2 головки встановлений на підшипниках 1 на валу 8 з хвостовиком 6, який кріпиться в шпинделі 5 верстата. В пазах корпусу на осях 4 закріплені дискові косозубі фрези 3, що пов'язані з шестернями. Обертання фрезам через шестерні передається від центрального вала 8 з напресованими на нього ведучими колесами 7. Лівий кінець вала

виконаний конічним і кріпиться в другому шпинделі верстата. Головка працює таким чином. Шпиндель 5 через хвостовик 6 обертає корпус 2. Одночасно шпиндель приводить в обертання вал 8. Колеса 7 передають крутний момент шестерням фрез і обертають їх. Розміщення фрез по гвинтовій поверхні забезпечує поперемінне врізання зубів в оброблювану поверхню і плавну роботу інструмента. Завдяки тому, що при одному обороті корпусу в роботі бере участь велика кількість зубів фрез, подача на зуб припадає незначна. Це забезпечує рівномірну роботу інструмента і створює гарні умови для відведення теплоти із зони різання.

## 4.2 Ротаційне фрезерування

Спочатку ротаційні різці використовувались у вигляді одиничних вставок в торцевих фрезах разом з нерухомими різцями. Чашковий різець встановлювався таким чином, що його зовнішня конічна поверхня є передньою, аналогічно стругальному ротаційному різцю (див. рис. 3.5,а). Чашковий різець знімав за прохідними різцями за способом "брижогого різання" тонкий шар товщиною 0,02 – 0,05 мм і шириною, рівною подачі на оберт фрези, 3 - 4 мм/об. Різці із швидкоріжучої сталі добре притиралися по силуміну; а з ВК6 - по чавуну. При подачах 2-3 мм/об в результаті оброблення отримувалась цілком рівна поверхня без рисок. Стійкість чашкових чистових різців в торцевих фрезах досягала 60 год при багаторазових переточуваннях чорнових різців за той же час. Значно спростилося налагоджування на чистові проходи, тоді як при використанні звичайних різців навіть після ретельного встановлення на обробленій поверхні спостерігались риси. Останнє пояснюється порушенням статичного встановлення різців в динамічному режимі внаслідок зазорів у вузлах верстата і нерівномірної жорсткості різців, в той час як при круглій формі різця з малою кривизною компенсуються всі попередні статичні і динамічні похибки налагоджування фрези.

Поєднання прохідних різців з ротаційними широко використовується в комбінованих фрезах, призначених для зняття чорнового припуску за один прохід з одержанням високої якості обробленої поверхні. Комбінована торцева фреза має два ряди зубців: зовнішній із прохідних різців для чорнового оброблення і внутрішній із ротаційних - для чистового. З урахуванням того, що діаметр розміщення чистових різців менший в порівнянні з зовнішнім діаметром зубців фрези  $D$ , ширина фрезерування дорівнює  $B (0,7-0,8)D$ . Отримані режими фрезерування по сталі 45 твердістю НВ 170-190:  $t=3$  мм,  $S_z=0,7-1,2$  мм/зуб,  $V=3,5-4$  м/с. Гарантована стійкість фрези при зношуванні 1 мм по задній грані дорівнює 180 хв.

Для зачищування плоских поверхонь сталевих плит, вилівок і подібних сталей добре зарекомендувало себе торцеве фрезерування інструментом з планетарним обертанням ротаційних різців. Встановлення



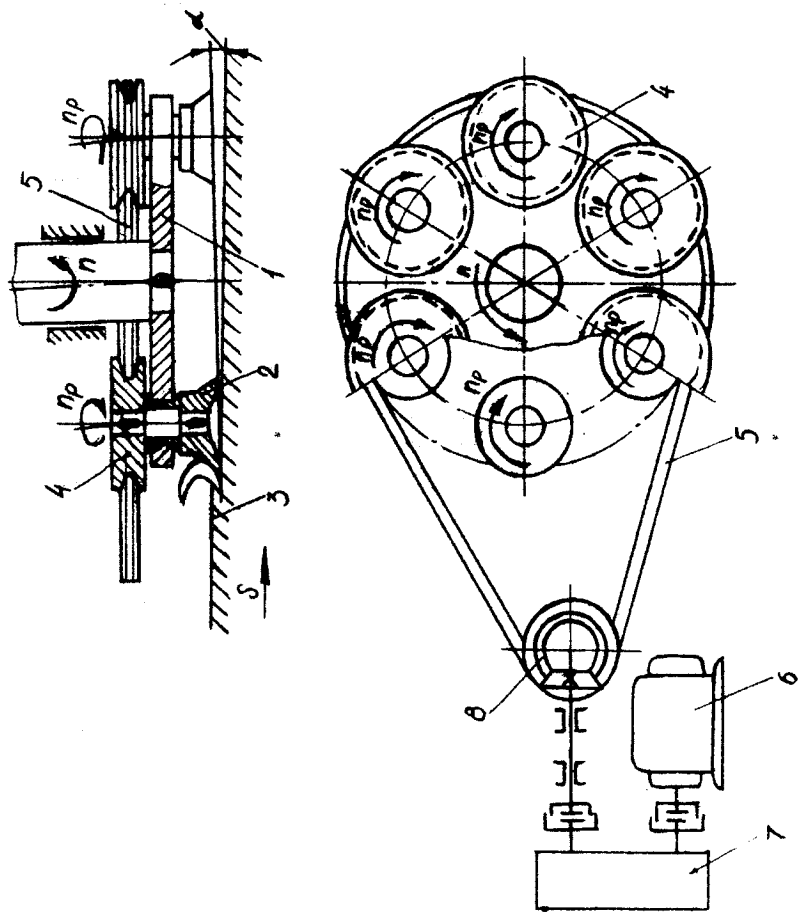


Рисунок 4.2- Планетарна головка для ротaційного фрезерування

різців в планшайбі відповідає стругальному ротаційному різцеві за схемою на рис. 2.6,а. Цей спосіб фрезерування, запропонований для зачищування прокату групою авторів на чолі з академіком А.І. Целіковим, має високу продуктивність. Планшайба 1 (рис.4.2) з ротаційними різцями 2 встановлюється під кутом  $\alpha=3^{\circ}$  до оброблюваної поверхні 3 і одержує обертання з частотою  $n$ . Ротаційні різці мають шківів 4 на протилежних до робочої частини кромках кінців, з'єднаних пасовою передачею 5 з приводом обертання від окремого електродвигуна 6 через редуктор 7 і кінцеву передачу 8. Напрямок обертання  $n_p$  різців протилежний обертанню планшайби і має однакову швидкість в зоні різання. Таке поєднання рухів зменшує відносно ковзання чашок при підвищенні стійкості інструменту і дозволяє вести обробку з високими режимами різання: по гарячому металу швидкість різання 3-3,5 м/с, хвилинна подача до 1000 мм/хв, глибина різання до 3 мм, ширина 500 мм.

Ротаційні торцеві фрези широко використовує для оброблення титанових сплавів американська фірма Lockheed Aircraft Co. Режими оброблення титанових сплавів марки А-110 твердістю HB 310 і марки В-120 твердістю HB 400: швидкість різання 217 м/хв, подача 280 мм/хв. Стійкість фрез, оснащених ротаційними різцями діаметром 25-30 мм із твердих сплавів, підвищується в 3-5 разів в порівнянні з фрезами з нерухомими різцями. Ротаційні різці, встановлені за схемою, наведені на рис. 3.5,б [23]. Спочатку ротаційні різці кріпились в бронзових підшипниках ковзання. Досвід експлуатації показав, що при тих же габаритах голкові підшипники забезпечують кращу ротацію різців, і, насамкінець, більш високу працездатність фрези при важких режимах.

Останнім часом для покращення оброблення високоміцних матеріалів в торцевих фрезах і в порівнянні з круглими поворотними пластинками почали застосовувати поворотні ріжучі пластини з дуговими кромками для чорнової обробки [24]. Чергування круглих і фасонних поворотних пластин забезпечує рівнонавантажене різання і вирівнювання товщини зрізу.

### 4.3 Проектування торцевих фрез

Конструкції обертової частини зуба і її опор для торцевої фрези вибирається в основному з тих же міркувань, що і для токарних різців. При виборі числа зубів і їх взаємного розміщення в корпусі торцевої фрези необхідно враховувати:

1. Габарити вузла самообертового зуба порівняно великі, що не дозволяє встановлювати досить велику їх кількість у фрез малого діаметра.
2. Інструмент є багатолезовим, що дозволяє при великих глибинах різання знижувати  $t_c$  до порівняно малих значень за рахунок взаємного зміщення

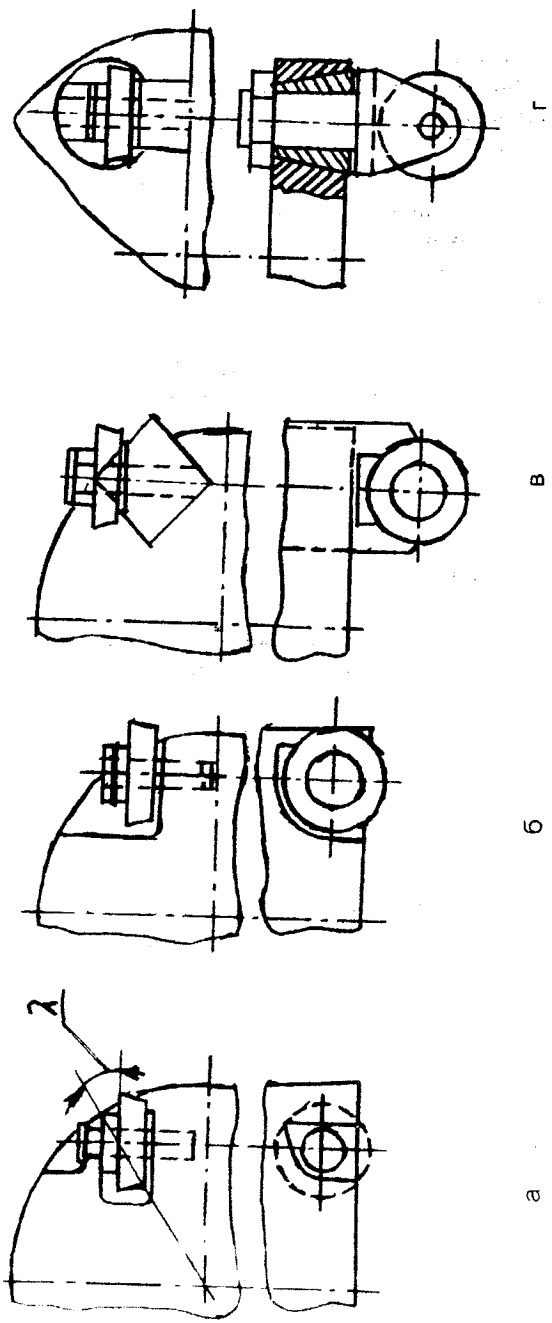


Рисунок 4.3-Варіанти конструкції вузла кріплення

зубів і встановлювати в одному корпусі фрези зуби прямого і зворотного різання.

Відомі конструкції ріжучих зубців для торцевих фрез повторюють, в основному, токарні різці (рис. 2.4., 3.7), але, на відміну від них, частина зуба фрези, що обертається, обов'язково фіксується від переміщень вздовж своєї осі.

На рис. 4.3 показані варіанти конструкції вузла кріплення зубів на торцевих фрезах. Двоопорне кріплення (рис.4.3,а) забезпечує найбільшу жорсткість вузла, але ця конструкція трудомістка у виготовленні, в паз для різця фрези може забиватися стружка [26, 27, 28, 29].

Консольне розміщення осі (рис.4.3,б) залишає великий простір для виходу стружки, трудомісткість виготовлення інструмента менша, ніж при першому варіанті, але знижується жорсткість вузла кріплення різця, а отже, і інструмента в цілому.

На рис. 4.3, в показане консольне кріплення частини зуба, що обертається, на призматичному тримачі. Тримачі кріпляться в пазах корпуса фрези з можливістю взаємного зміщення для поділу припуску. Основна перевага цього варіанта в використанні типових конструкцій корпусів торцевих фрез [30, 31].

При двоопорному кріпленні вузла різця, що обертається, в корпусі фрези на перехідному тримачі з циліндричним хвостовиком (рис.4.3,г) цей вузол можна центрувати за допомогою конічної втулки. Такий варіант кріплення зуба дає можливість встановлення його на різні кути  $\lambda$  при прямому і зворотному різанні, а також дає можливість взаємного зміщення різців для поділу припуску, що дозволяє використовувати такі фрези при дослідницьких роботах [32].

Уніфікація типорозмірів торцевих фрез з різцями, що обертаються, може будуватися на ряді нормальних розмірів діаметрів ріжучих кромки D (табл.3.2) і виборі оптимального числа зубів Z. Розміри гнізд для кріплення осей і зубів в корпусі фрези зведені в табл.4.1.

Таблиця 4.1 - Розміри уніфікованої конструкції вузла торцевої фрези, мм

D	$l_1$	$l_2$	$l_3$	C	$d_z$	l	D	h
12	4	11	7	10	26	4	7	2
16	4	14	8	12	30	5	8	3
20	5	14	9	14	32	3,5	10	3
25	6	16	12	16	38	5,5	12	4
32	8	20	15	20	48	6,5	14	4
40	9	25	18	25	58	9	16	5
50	12	30	24	31	72	12	22	5
60	15	36	30	36	90	13,5	26	6

За допомогою встановлених діаметрів зон розміщення вузла зуба в корпусі  $d_z$  (рис.4.4.) можна розраховувати основні геометричні розміри торцевої фрези до її викреслювання незалежно від кута  $\lambda$  ( $D_z$  - діаметр по центрі зон,  $d_z$  - профілюючий діаметр зуба фрези,  $D_k$  - діаметр корпусу).

Із усіх можливих поєднань,  $z$ ,  $D$  і  $\lambda$  слід вибирати ті, які відповідають вимогам:

- діаметр  $D_0$  повинен бути більший ширини оброблюваної поверхні ( $B=0.8D_0$ );
- діаметр зуба  $D$  повинен, з врахуванням кута  $\lambda$ , забезпечувати нормальне різання при заданій глибині  $t$  (табл. 3.2);
- число  $z$  повинно бути досить великим з точки зору найбільшої продуктивності при вибраному  $D_0$  і відповідати найменшій пульсації сил різання (табл.4.2).

Таблиця 4.2 - Коливання сил різання при торцевому фрезеруванні

Пульсація сил різання, %	Z										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14
$\Delta P_x$	106	56	6	9,6	8,1	13	2,5	4,5	4,1	2,4	1,8
$\Delta P_y$	100	18	30	9,7	11	12	5,2	3,8	5,8	2,1	2,3
$\Delta P_z$	148	120	21	63	14	89	8.3	24	15	9	24

Таблиця 4.3 - Діаметри торцевих фрез  $D_z$ , мм

D, мм	Z							
	4	6	8	10	12	16	20	24
12	37	52	68	84	—	—	—	—
16	48	60	78	97	115	—	—	—
20	45	62	84	103	123	164	—	—
25	54	76	99	122	146	195	244	—
32	—	96	125	155	195	246	308	370
40	—	—	149	183	246	297	370	445
50	—	—	—	232	297	370	460	550
60	—	—	—	—	370	460	577	690

В табл. 4.3 приведені ряди значень діаметрів фрез  $D_z$ , розраховані для різних діаметрів зубів  $D$  (табл.3.2). Числа  $z$  утворюють деформований геометричний ряд із середнім коефіцієнтом прогресії 1,25.

Найбільший діапазон зміни діаметрів  $D_z$  розміщений по діагоналі таблиці, тому відповідні йому значення  $z$  і  $D$  приймаємо за основні (табл. 4.4).

Утворений основними поєднаннями  $z$  і  $D$  ряд діаметрів  $D_z$  має середній знаменник геометричної прогресії 1,5. Ріжучі здатності фрез цього ряду можна порівнювати за сумарною довжиною ріжучих кромок всіх зубів  $L_z = \pi D_z$  чи за відносною довжиною ріжучих кромок, рівною  $L_z/D_z$ .

Таблиця 4.4 - Характеристики фрез основного ряду

Параметр	Z							
	4	6	8	10	12	16	20	24
D	12	16	20	25	32	40	50	60
$D_z$	37	60	84	122	185	300	460	690
$L_z$	0,15	0,3	0,5	0,75	1,2	2	3,2	4,5
$L_z/D_z$	4.1	5	6	6,2	6,5	6,7	6,9	6,5
$V_{min}$ , мм	31	36	39	46	57	70	86	104

Характер зміни  $L_z$  і  $L_z/D_z$  відносно  $D_z$  фрез основного ряду (табл. 4.4) говорить про ефективність, з точки зору продуктивності, використання фрез великих діаметрів. Однак доцільне збільшення діаметрів  $D$  і  $D_z$  обмежується такими умовами:

1. Для малої ширини фрезерування  $V \leq D_0$  коефіцієнт перекриття зубів повинен бути мінімальним (рівним 1,2), тому:

$$V_{min} = 1,2d_3. \quad (21)$$

Така умова обмежує вибір  $D_{max}$  (табл. 4.4).

2. Із збільшенням діаметра фрези  $D_z$  до наступного розмірного ряду (табл.4.4) вартість її виготовлення зростає по таких складових: вартість матеріалу корпусу фрези пропорційно збільшенню її об'єму (в  $(1,5)^3=3,4$  разу); вартість інструментального матеріалу зубів пропорційна збільшенню їх об'єму і числу  $z$  ( $(1,25)^4=2,5$  разу); вартість виготовлення фрези пропорційна збільшенню площі поверхонь деталей фрези ( $(1,5)^2=2,25$  разу). Таким чином, перехід на кожний наступний більший діаметр фрези пов'язаний з зростанням приблизно в 2,5 разу.

3. Із збільшенням  $D_z$  по основному ряду (табл. 4.4) збільшуються числа зубів  $z$  і їх діаметри  $D$ , що призводить до збільшення сил різання. Оцінимо ці сили.

Приймаємо залежність:

$$P = qs_z t \quad (22)$$

Враховуючи раціональне збільшення  $s_z$ ,  $t$  і  $z$  пропорційно  $D$ , маємо  $P \approx cD^3$ .

Ряд діаметрів зубів  $D$  побудований з коефіцієнтом геометричної прогресії 1,25 (табл. 3.1). Тому при переході до більшого діаметра зуба по основному ряду при  $V=D_z$  сили різання збільшуються приблизно в 2 рази ( $(1,25)^3$ ).

Побудований ряд типорозмірів торцевих фрез дозволяє рекомендувати таку методику вибору основних розмірів цього інструмента. По ширині фрезерування  $V$  з основного ряду розмірів  $D_z$  вибирається найближче значення  $D_z=1,25$  і відповідні йому  $z$  і  $D$  (табл. 4.4). Перевіряється умова перекриття різів в роботі.

Потім за вибраним значенням  $D$  перевіряється допустима глибина  $t_{\max}$  (табл. 3.2) в порівнянні з заданою  $t$  при вибраному куті  $\lambda$ . Якщо в основному ряді сполучень  $z$  і  $D$  (табл. 4.4) обмеження по  $t_{\max}$  при  $V_{\min}$  не виконуються, то приймаються сусідні значення  $D_z$  із найближчого діагонального ряду сполучень ( $z$  і  $D$ ) (табл. 4.3) і вище основного ряду - якщо не виконується умова  $V_{\min}$  і нижче - якщо потрібно зменшити  $t_{\max}$ .

Однією з умов застосування торцевих фрез з ротаційними різцями для напівчистових і чистових операцій є встановлення обґрунтованих вимог до точності виготовлення цього інструменту, необхідних для забезпечення заданої шорсткості обробленої поверхні деталі. Крім відхилень від номінального положення профіля зрізу, характерних для токарного різця, викликаних биттям ріжучої кромки при обертанні  $\Delta R$  і коливанням різця в межах зазору на опорах, у торцевій фрези ці відхилення обумовлені похибками взаємного розміщення ріжучих кромки зубів по торцеві  $\Delta u$  і по радіусу фрези  $\Delta r$ . При найнесприятливіших поєднаннях вказаних відхилень масмо:

$$H_{\max} = \frac{[S_z + (\Delta R + S_n) \cdot \cos \lambda + \Delta r]^2}{8R \cdot \cos^2 \lambda} + \Delta R + S_n + \Delta u + \Delta h, \quad (23)$$

де  $\Delta h$  - шорсткість ріжучої кромки.

Всі похибки за характером впливу на шорсткість поверхні можна розділити на три групи:

- що з'являються систематично на повну свою величину при кожному оберті фрези -  $\Delta u$  і  $\Delta r$ ;
- що з'являються як векторна сума величин, яка залежить від збігання кутового положення ексцентриситету кромки зуба в сусідніх переходах ( $\Delta R$ ) і наявності коливань різця на опорах.
- що з'являються з часом, в міру зношення різця -  $\Delta h$ .

В результаті, враховуючи теоретичне визначення параметрів шорсткості  $R_{\max}$  і  $R_z$  ДЕСТ 2789-73 а також характер дійсних похибок і їх величин, пропонується при оцінюванні шорсткості поверхні, обробленої при чорновому і напівчистовому фрезеруванні, користуватися формулою:

$$R_z = \frac{[S_z + \Delta r]^2}{8R \cdot \cos^2 \lambda} + \frac{\Delta R + S_n}{2} + \Delta u \quad (24)$$

При чистовому фрезеруванні, коли оброблена поверхня профілюється одним різцем ( $\Delta u = \Delta r = 0$ ):

$$R_z = \frac{S_z^2}{8R \cdot \cos^2 \lambda} + \frac{\Delta R + S_n}{2} + \Delta h \quad (25)$$

Розглянемо приклад оцінювання необхідної точності виготовлення багатозубої фрези з  $D=32$  мм і  $\lambda=45^{\circ}$  при чорновому і напівчистовому фрезеруванні. Оцінювання шорсткості проведено за  $R_z$  (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 - Залежність параметру шорсткості поверхні  $R_z$  мкм від точності виготовлення фрези

$\frac{\Delta R + S_n}{2} + \Delta y$	$S_z + \Delta r$ , мм					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
0	—	—	—	4	8	13
0,005	5	6	7	9	13	18
0,01	10	11	12	14	18	23
0,02	20	21	22	24	28	33
0,04	40	41	42	44	48	53
0,1	100	101	102	104	108	113

Із табл. 4.5 видно, що зміна параметру  $R_z$  в більшій мірі залежить від зміщення зубів фрези по осі  $y$  ( $\Delta R$ ,  $\Delta y$ ,  $S_n$ ) і в меншій - від зміщень по осі  $x$  ( $\Delta r$ ).

Кінцеве чистове оброблення поверхні слід виконувати з калібруванням одним зубом. Конструкція опор з частини вузла зуба, що обертається, повинна передбачити застосування підшипників з мінімальним зазором, а биття ріжучої кромки повинно усуватися при кінцевому заточуванні задньої поверхні зубів на зібраному інструменті. Діаметр різця повинен бути якомога більшим (обмеження по появленню вібрацій), а кут нахилу  $\lambda$  - меншим (обмеження по стійкому самообертанню).

В результаті розрахунку  $R_z$  за формулою (25) при  $\lambda=20^{\circ}$  отримуються параметри шорсткості обробленої поверхні, яких можна досягнути при ретельному виготовленні різця ( $\Delta R=S_n=\Delta h=0$ )(табл. 4.6).

Таблиця 4.6 - Досягнутий параметр шорсткості поверхні  $R_z$ , мкм при чистовому фрезеруванні.

D, мм	$S_z=S_0$ , мм				
	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0
60	1,2	2,7	4,8	10,6	19,0
80	0,9	2,0	3,6	8,0	14,0
100	0,7	1,6	2,9	6,4	11,4

Встановлені залежності для  $R_z$  дають можливість призначати допуски на точність виготовлення елементів корпусу фрези і деталей вузла зубів.



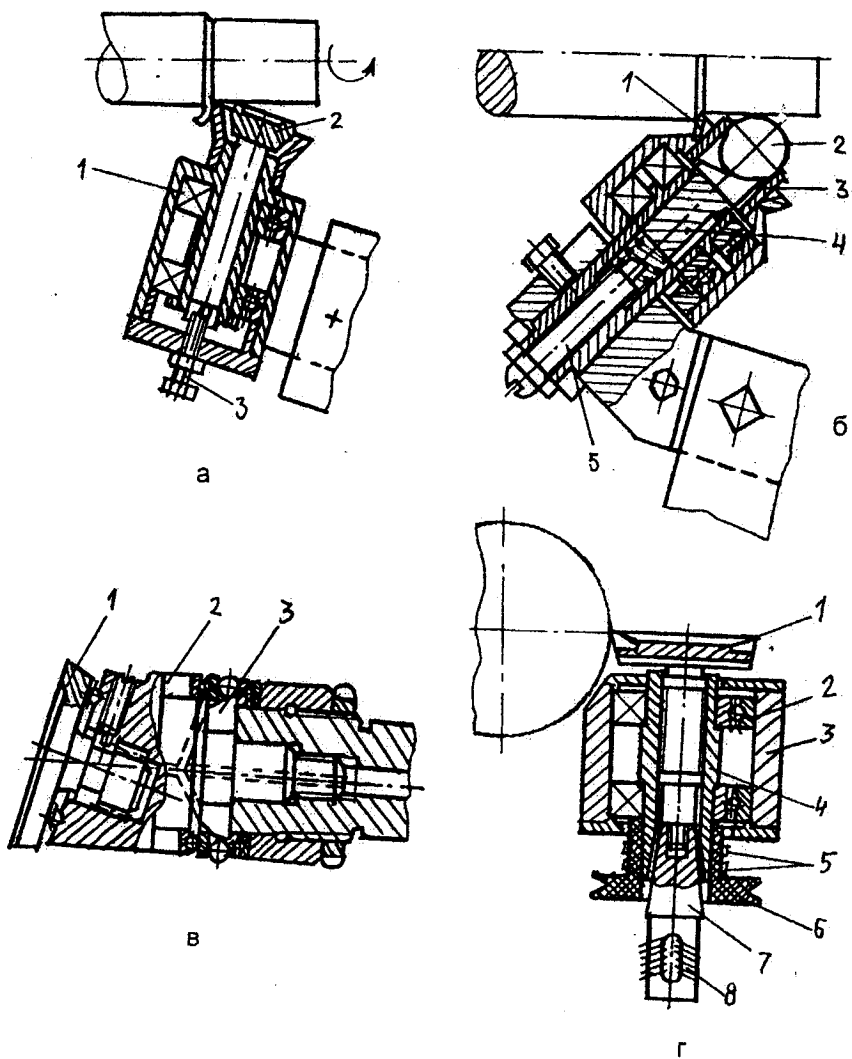


Рисунок 5.1 - Комбіновані ротаційні інструменти

## 5 Прогресивні ротаційні інструменти

### 5.1 Комбіновані інструменти та методи ротаційного різання

Широке розповсюдження одержали інструменти для ротаційного точіння з подальшим пластичним деформуванням обробленої поверхні [27]. Чашковий різець 1 (рис. 5.1,а) з установленим в середині нього конусним роликком 2 дозволяє поєднати точіння з вигладжуванням. Регулювальний гвинт 3 призначений для налагоджування ролика на розмір обробленої поверхні. Для цієї ж мети призначений комбінований ротаційний різець з конусною чашкою 1 (рис. 5.1,б) і спеціальною накатною кулькою 2, встановленою в стакані 3. Для налагоджування кульки на розмір служить підпружинений стержень 4 і гвинт 5.

До групи ріжуче-деформівних інструментів відноситься зенкер-розвертка (рис.5.1,в), який має ріжучий диск 1 із канавками для відведення стружки, розгортальні кульки для запобігання потрапляння стружки в зону деформування.

Для зниження діючих при різанні сил і підвищення продуктивності обробки на ріжучий інструмент накладають коливання ультразвукової частоти. Поєднання ультразвукового впливу з ротаційним різанням реалізує комбінований інструмент у вигляді різця, що обертається, на хвостовикові якого встановлений ультразвуковий генератор (рис. 5.1,г).

Груднощі передачі ультразвукових коливань ріжучій чашці ротаційного різця зумовлені тим, що чашка розміщена в корпусі різця на шпинделі, що обертається. Крім того, різець встановлений консольно на кронштейні, що не дозволяє забезпечити високу жорсткість технологічної системи і низьку шорсткість поверхні, що обробляється.

В корпусі 3 різця на підшипниках 2 установлений шпиндель 4, всередині якого коаксіально розміщений тримач чашкового ріжучого елемента 1. Тримач розміщений в середині шпинделя 4 з зазором, а його довжина з урахуванням чашкового ріжучого елемента рівна або пропорційна довжині ультразвукової хвилі. Із сторони, протилежної чашковому ріжучому елементові, тримач з'єднаний різьбовим з'єднанням з концентратором 7 перетворювача ультразвукових коливань 8. На шпинделі 4 закріплений привідний шків 6. На ступиці шківа розміщені кільця 5, які служать для передачі електричного струму до ультразвукового перетворювача.

Діаметр чашкового ріжучого елемента розраховується за формулою:

$$D = \frac{\lambda \cdot c}{\pi \cdot f}, (i \text{ i}); \quad (26)$$

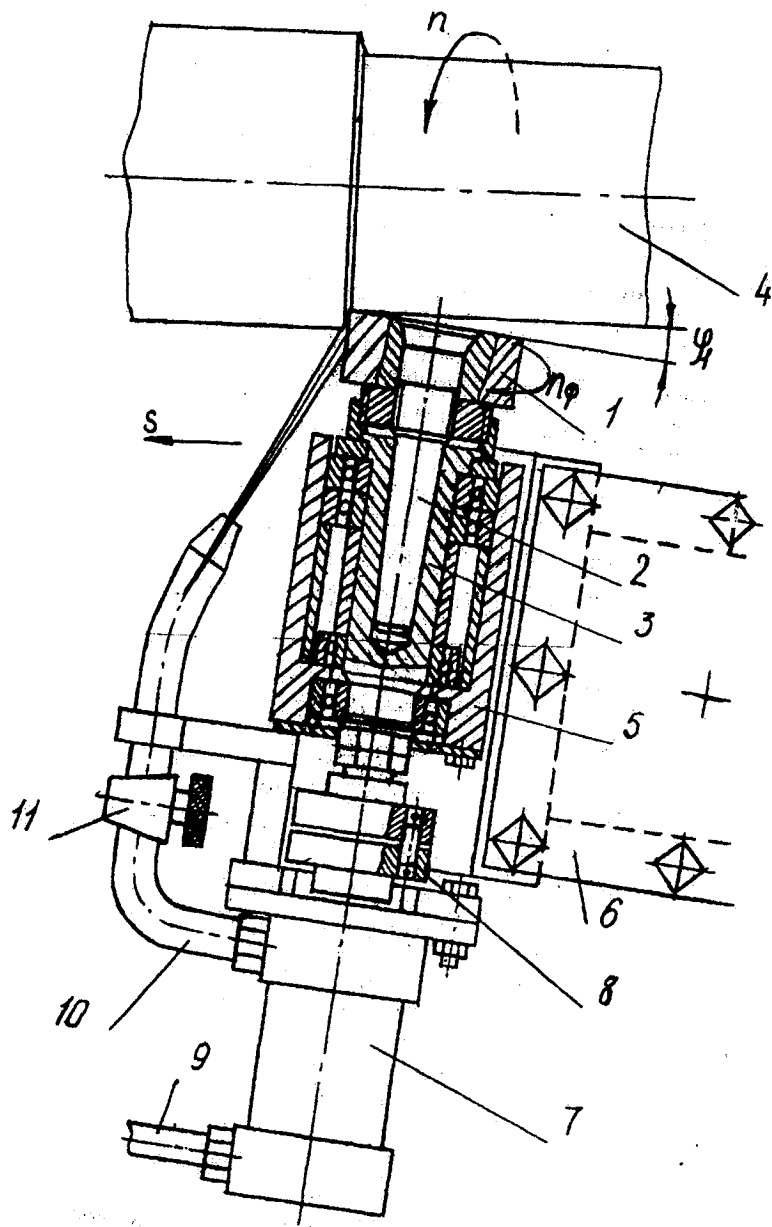


Рисунок 5.2 - Пристосування для фрезоточіння

де,  $\chi$  - коефіцієнт, що пов'язаний з поперечною деформацією тримача, для сталі він дорівнює 2,15;

$c$  - швидкість звуку,  $c=6000$  м/с для сталі;

$f$  - частота ультразвукових коливань.

При частоті  $f=8$ кГц діаметр чашкового елемента дорівнює 436 мм, при  $f=80$ кГц діаметр дорівнює 43 мм.

Застосування ротаційного різця дозволяє стабільно забезпечити процес ротаційного різання нежорстких деталей завдяки зниженню на 15-30% сил різання і підвищити продуктивність процесу в 1,2-1,5 разу.

## 5.2 Інструменти для фрезоточіння

Різноманітністю точіння багатолезовим різцем є оброблення торцевою фрезою, що сама обертається. Фреза 1, встановлена на оправці 2 з конічним хвостовиком в шпинделі 3, приводиться в обертання ( $n_{\phi}$ ) від деталі 4, що обертається з частотою  $n$  (рис.5.2). Шпиндель встановлений на підшипниках верстата. Різетримач повертається на кут  $\phi_1$ , і отримує повздовжнє переміщення з подачею  $S$ . Зрізання припуску зубцями фрези відбувається короткими стружками. Найбільш доцільно використовувати енергію різання для виконання корисної роботи, наприклад, для подачі ЗОР. З цією метою в пристосуванні до токарного верстата встановлений насос 7, ротор якого з'єднаний зі шпинделем муфтою 8. ЗОР надходить по патрубку 9 в насос 7 і по нагнітальному патрубку 10 подається в зону різання. Швидкість обертання фрези залежить від опору обертанню шпинделя в пристосуванні. Кран 11 служить для регулювання витрат ЗОР і швидкості обертання фрези. Швидкість самообертання фрези в 2-8 разів менша швидкості обертання деталі, передаточне відношення кутових швидкостей деталі і фрези  $i=(2-8)R/r$ , де  $R$  і  $r$  – відповідно радіуси фрези і деталі.

Точіння фрезою, що сама обертається, забезпечується простим і раціональним пристосуванням до токарного верстата, але здійснюється з нахилом фрези проти подачі. Це не дозволяє використовувати всіх переваг від застосування фрези. Для зрізання великих припусків фрезу 1 (рис.5.3) нахилляють в сторону подачі на кут  $\phi$ , що визначається із відношення  $\phi=\arcsin(t/D)$ , де  $t$  - глибина припуску на чистову обробку,  $D$  - діаметр фрези по вершинах зубців. Таке встановлення фрези забезпечує зрізання чорнового припуску зубом 2 за схемою зустрічного фрезерування, а чистового припуску зубом 4 за схемою попутного фрезерування. При цьому зубці працюють поперемінно головним і допоміжним ріжучими лезами, що підвищує стійкість фрези. Швидкість обертання фрези перевищує швидкість обертання деталі 3 в два з лишнім рази для забезпечення різання в зоні потужного ходу зуба 4, і за співвідношенням швидкостей рухів спосіб є фрезеруванням. Він придатний для оброблення торців валів на фрезерно-центрувальних автоматах і площин на звичайних фрезерних верстатах. При чорновій

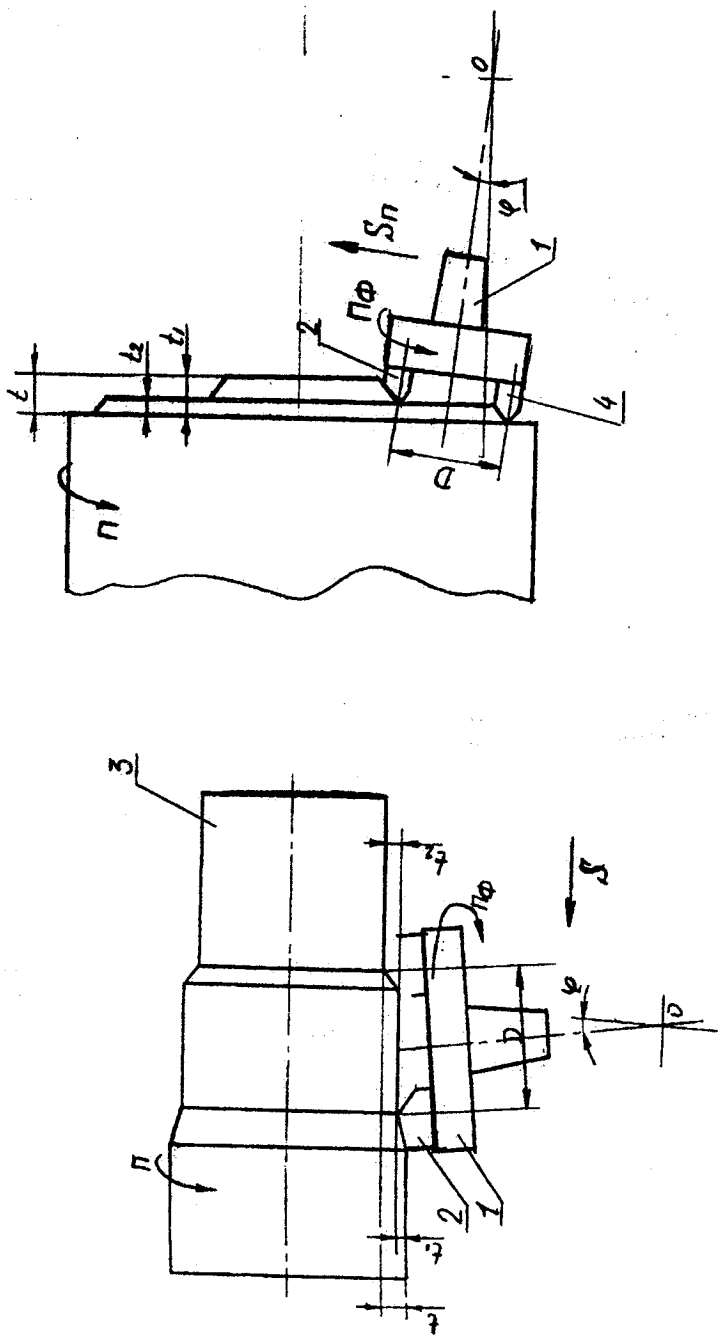


Рисунок 5.3 - Схеми фрезоточіння

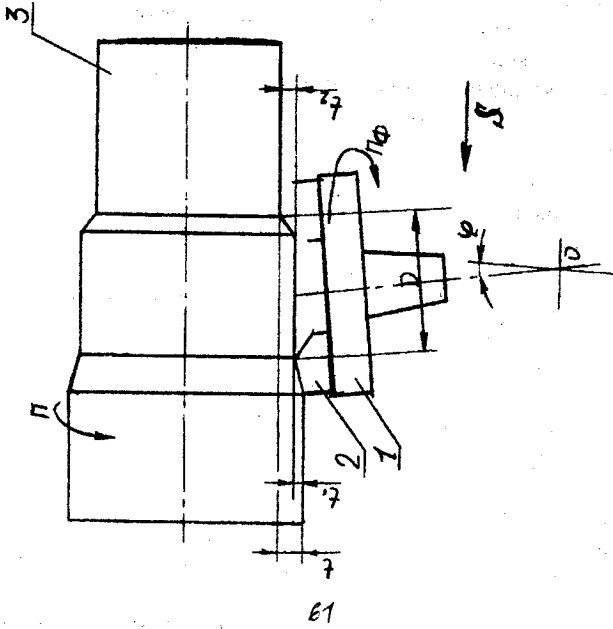
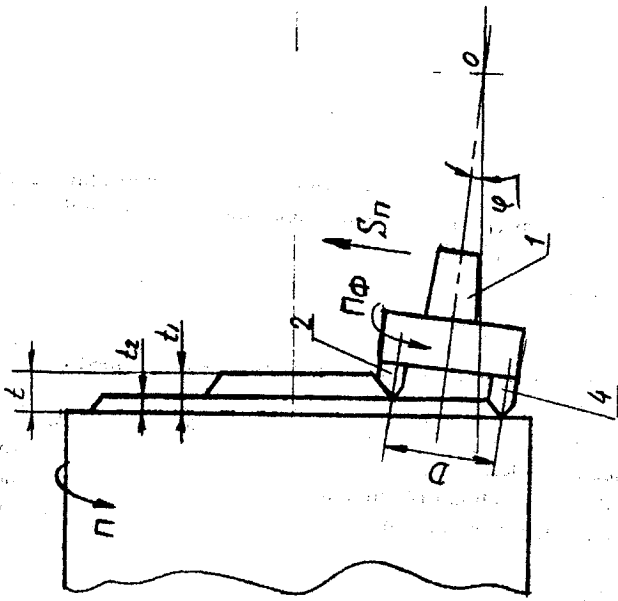


Рисунок 5.3 - Схеми фрезоточіння

обробці важкооброблюваних матеріалів, наприклад, титанованих сплавів, значно підвищується продуктивність праці, економиться шихтовий матеріал (титанова стружка), покращується якість обробленої поверхні, зменшуються витрати твердого сплаву.

### 5.3 Інструменти з гвинтовою різальною кромкою

Ротаційні інструменти циліндричної чи конічної форми мають сукупність кільцевих (рис.1.2, форма з) чи гвинтових ріжучих кромоч (рис.1.3, форма и). В останньому випадку ними є циліндричні фрези з гвинтовими зубами. Застосування таких фрез для токарного і стругального оброблення значно підвищує продуктивність різання і скорочує час на обслуговування інструментів, оскільки стійкість гвинтових лез набагато вища стійкості окремих різців [33]. Нові способи із співрозмірними і рівними швидкостями рухів інструмента і деталі відповідають фрезоточінню і фрезоструганню [34].

Розглянемо оброблення отвору гвинтовим різцем (рис.5.4,а). Деталь типу кільця 1 отримує обертання зі швидкістю різання  $V$ , а різець 2 з гвинтовою ріжучою кромкою - повільне обертання зі швидкістю колової подачі  $V_S$  навколо паралельної осі. Зрізання припуску  $t$  здійснюється без осьового переміщення деталі гвинтовою ріжучою кромкою довжиною, що не перевищує ширину поверхні. Колова подача забезпечує переміщення зони різання вздовж поверхні, що обробляється, зі швидкістю осьової подачі  $S_0 = V_S / \tan \omega$ , де  $\omega$  - кут підйому гвинтової ріжучої кромки.

Можлива друга схема обробки, коли деталь нерухома (рис. 5.4,б). В цьому випадку різцеві 2 крім обертання навколо власної осі зі швидкістю колової подачі  $V_S$  передається обертання разом з корпусом 3 навколо осі деталі 1 зі швидкістю різання  $V$ . Для обертання корпусу служить другий привід через зубчате колесо 4. Така схема ефективна при обробленні отворів нерухомих корпусних і крупногабаритних деталей. При значній довжині отворів в контакт з ними може знаходитись декілька ділянок гвинтового леза. Декілька зон контакту відповідає багатолезовому точінню з одночасним зрізанням такої ж кількості стружок.

Звичайному точінню відповідає робота гвинтовими різцями, що періодично обертаються для заміни зношених ділянок ріжучого леза за допомогою спеціальних пристосувань. Різець 1 (рис.5.5) з гвинтовим ріжучим лезом закріплений з можливістю повороту в ПІ-подібному тримачі 2, який встановлений в напрямній типу "ластівчин хвіст" на плиті 3. Плита з'єднана з різцетримачем 4 болтами 5, що проходять в радіусні пази 6. Різець з хвостовиком 7 закріплюють в різцетримачі верстата під кутом до деталі, що обробляється. ПІ-подібний тримач 2 в вихідному положенні знаходиться в нижній частині проміжної плити 3. При цьому з оброблюваною деталлю 13

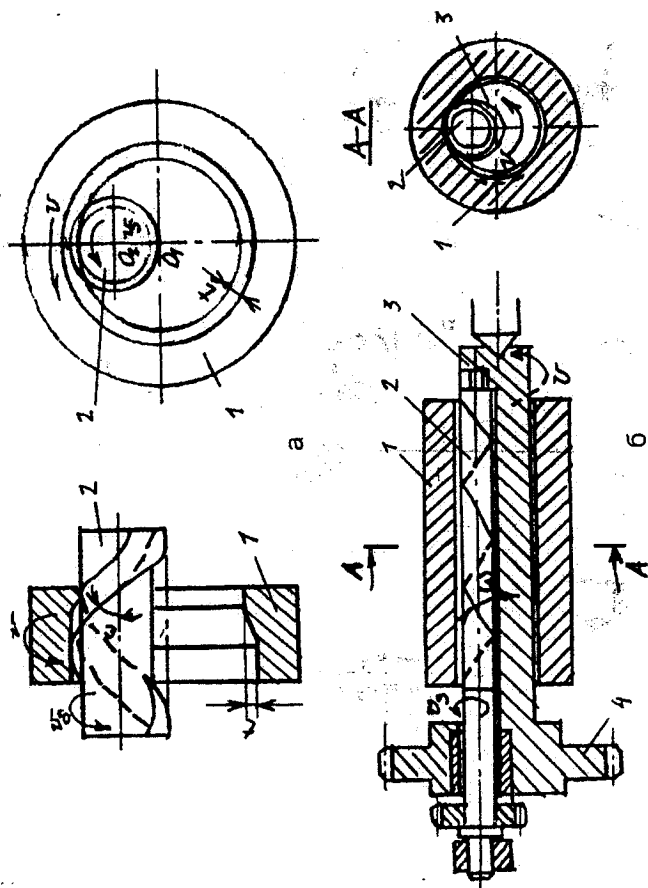


Рисунок 5.4 - Розточування гвинтовими різцями обертової деталі (а),  
нерухомої деталі з планетарним обертанням інструмента (б)



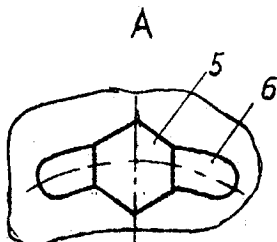
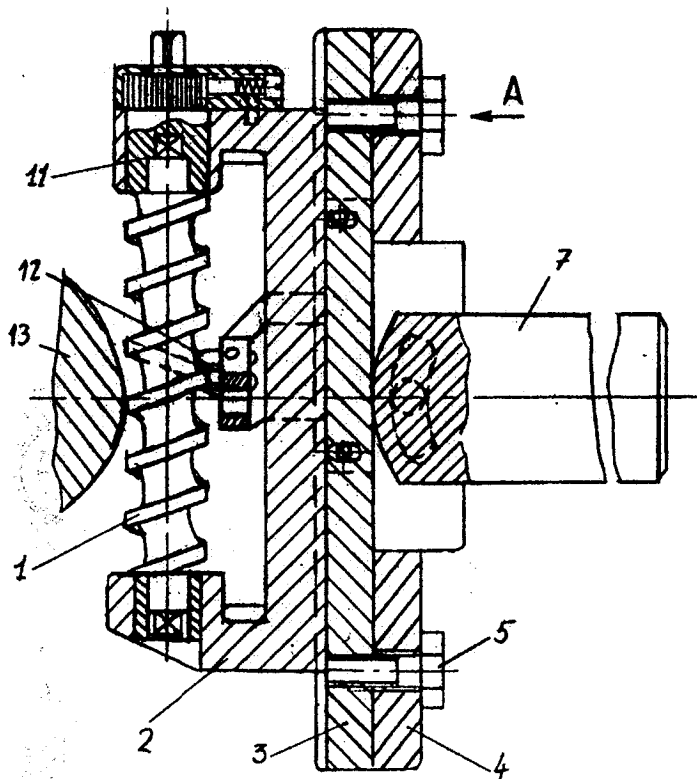


Рисунок 5.5

взаємодіє верхній виток ріжучої частини. В такому положенні починають проводити оброблення деталі.

Прогин ріжучої частини під дією сил різання сприймається розміщеними навпроти зони різання опорними роликками 12, які одночасно виконують функції гайки і підтримувальної опори. В міру зношення повертають валик 11, а разом з ним ріжуче лезо на крок храповика 9, який потім стопориться фіксатором 8. При повороті різця в результаті взаємодії з опорними роликками здійснюється поступальне переміщення разом з П-подібним тримачем. Ріжуча кромка здійснює рух по гвинтовій лінії, займаючи незмінне положення по відношенню до осі заготовки. Після повного зношення різець витягують із тримача, знявши попередньо кришку 10 і, перевернувши, встановлюють зворотною стороною витків.

Різноманітність способів точіння і фрезерування тіл обертання багатолезовим інструментом визначається взаємними розміщенням інструментів і деталі, кінематичним співвідношенням їх швидкостей.

Різновидністю фрезоточіння з самообертанням і самоподачею інструмента є осьове протягування з самообертанням деталі від протяжки, що рухається поступально [36]. Круглу протяжку 1 з гвинтовими зубами встановлюють на відстані  $L$  від деталі 2 (рис.5.6) у відповідності з припуском  $t$  на обробку. Протяжка отримує поступальне переміщення зі швидкістю  $V_C$ . Повна сила різання  $F$  визначає тангенційну складову сили протягування  $F_t$ , величина якої залежить від кута нахилу гвинтової лінії зуба  $\omega$  (рис.5.6,г):  $F_t = F \cos \omega$ . Сила  $F_T$  дає тангенційну силу різання  $F_t$  і силу тертя  $F_{Tr}$  в опорах, обертаючи деталь зі швидкістю  $V$ :  $F_T = F_t + F_{Tr}$ . Для забезпечення безперервного обертання деталі крок зубів протяжки  $P$  повинен бути менший довжини оброблюваної поверхні. Завдяки вільному кінематичному зв'язку між деталлю і протяжкою з'являється складова швидкості ковзання, що забезпечує зняття припуску при безперервній зміні витків ріжучих зубів протяжки. Циліндрична поверхня деталі одержується як обвідна дуг кіл радіусом протяжки. Для врівноваження радіальних сил різання  $P$  деталі встановлюють відносно протяжки в діаметрально-протилежних напрямках. При обробленні конічних поверхонь деталі встановлюють до осі під кутом  $\alpha$  (рис.5.6,б), гіперболічних - під мимобіжним кутом  $\beta$  (рис.5.4,в). Режими оброблення конструкційних матеріалів типу сталь 45 протяжкою із швидкоріжучої сталі: швидкість протягування  $V_S = 20$  м/хв, швидкість обертання деталі з врахуванням прокозுவання  $V = 18$  м/хв, кут нахилу гвинтової лінії зуба протяжки  $\omega = 45^\circ$ . Протягування вказаним способом дозволяє знімати великі глибини 2...2,5 мм, що відповідають припуску токарної обробки.

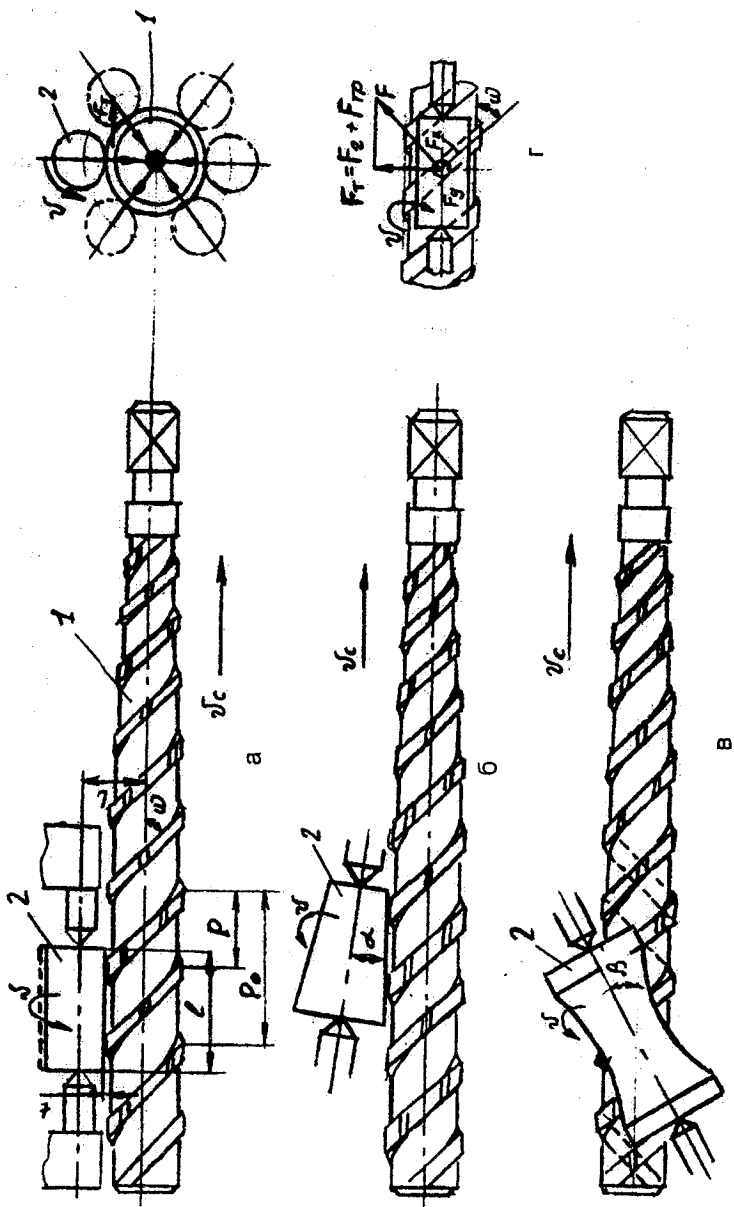


Рисунок 5.6

## 6 Висновки та рекомендації

В наш час накопичено багатий досвід для широкого впровадження ротажного різання в металообробне виробництво. Економічними мотивами є широкі технологічні можливості і висока ефективність ротажного різання. До них відносяться висока стійкість ротажного інструменту: круглих різців в 5...6 разів, а багатолезових ріжучих вставок в 10...30 раз вище звичайних токарних різців; високі режими обробки - швидкість різання при ротажному фрезоструганні сталей 350 м/хв; надійне подрібнення стружки при різанні в'язких матеріалів.

Круглі різці мають додаткові переваги при обробці деталей з фасонними переходами таких, як шліцові вали з виходом для шліцевих фрез, залізничні колеса, вагонні осі, підшипникові кільця. Симетричність ріжучої кромки забезпечує роботу чашки в обох напрямках подачі, що дозволяє уникнути холостих переходів.

Представляють інтерес прогресивні способи ротажного різання, що підвищують на порядок продуктивність обробки. До них відносяться спосіб ротажного відшарування - "флоу-піллінг", поперечно-гвинтове точіння багатолезовим інструментом з гвинтовими ріжучими лезами, протягування зовнішніх поверхонь гвинтовими протяжками з самообертанням деталі.

У вдосконаленні ротажного інструменту є значні потенціальні можливості: заміна ріжучої пластини на нескінченний ріжучий елемент у вигляді висококомічного дроту чи стрічки, що рекомендується для обробки дерева, графіту, легких сплавів і пластмас; збірні інструменти - трубчастий різець з декількома співвісними трубчастими елементами, що періодично переточуються по торцю у міру зношення; фасонні черв'ячні інструменти.

Найбільш ефективна область застосування ротажного різання - обробка крупногабаритних виливок, прокату, поковок, деталей типу валів, станин, плит, колісних пар, а також застосування їх на багатоцільових верстатах, які вимагають тривалої і стабільної стійкості ріжучого інструменту.

## Література

1. А.с. 80272 СССР, МКИ В23В 27/12. Свободно вращающийся многолезвийный резец. - БИ №7, 1971.
2. А.с. 946808 СССР, МКИ В23В 27/12. Свободно вращающийся многолезвийный резец. - БИ №28, 1982.
3. А.с. 1144777 СССР, МКИ В23В 27/12. Ротационный резец. - БИ № 10, 1985.
4. Данилов В.В., Иванов В.П., Тереньев В.А. Ротационное точение гильз цилиндром // Машиностроитель. - 1988. - № 2. - С. 17-19.
5. Ермаков Ю.М. Перспективы развития и эффективного использования режущего инструмента // Станки и инструмент. - 1987. - № 2. - С. 16-19.
6. А.с. 859053 СССР, МКИ В23С 7/02. Приспособление к токарному станку. - БИ № 32, 1981.
7. А.с. 1371788 СССР, МКИ В23В 27/12. Ротационный резец. - БИ № 5, 1988.
8. А.с. 778935 СССР, МКИ В23В 1/00. Способ механической обработки. - БИ № 42, 1980.
9. Новоселов Ю.А. Приводы устройств для ротационного точения // Машиностроитель. - 1981. - № 9. - С. 27-28.
10. Белоконь Б.С. - Резание и инструмент. 1776, вып. 15
11. Землянский В.А. - Самолетостроение и техника воздушного флота, 1967, вып. 10.
12. Причины и методы устранения преждевременных разрушений поверхностей, охлаждение гильз, цилиндров дизелей / В.В. Яковлев, В.А. Кондратьев, Л.Ф. Радионов и др. - Вестник машиностроения, 1975, № 7.
13. Kasei Susumu, Hara Toshio, Masuda Masahiro. - G. Iar. Soc. Precis. Eng. 1971, № 12.
14. Лоладзе Т.Н. Износ режущего инструмента. М., Машгиз. 1972.

15. А.с. 57478 СССР.
16. Исаев А.И., Андреев Г.С. Резцы для чистового и получистового точения с самовращающейся режущей частью из твердого сплава. - М., ИТЭИН, 1954.
17. Андреев Г.С. - В кн.: Исследования в области технологии обработки металлов резанием. Т.8 - М., Машгиз, 1957.
18. Катрунов А.А. - Резание и инструмент. 1971, вып. 4.
19. А.с. 1065112 СССР, МКИ В23С 5/06. Торцевая фреза. - БИ № 1, 1984.
20. А.с. 917966 СССР, МКИ В23С 5/06. Фрезерная головка. - БИ № 13, 1982.
21. А.с. 677831 СССР, МКИ В23С 5/06. Торцевая фреза. - БИ № 29, 1979.
22. А.с. 916136 СССР, МКИ В23С 5/06. Инструмент для обработки поверхностей. - БИ № 12, 1982.
23. Патент 3590701 ФРГ, МКИ В23С 5/06. Торцевая фрезерная головка. 1987.
24. Патент 3520371 ФРГ, МКИ В23С 5/20. Фрезерный инструмент., 1986.
25. А.с. 1099769 СССР, МКИ В23В 39/00. Способ комбинированной обработки цилиндрических деталей. - БИ № 23, 1984.
26. Землянский В.А., Лупкин Б.В., Никитенко И.И. - Вестник машиностроения, 1974, № 12.
27. Лупкин Б.В. - Резание и инструменты. 1971, Вып. 4.
28. Eskelin Arthur. - Mach and Product Enhnh. Vol. 110. 1967 № 2849.
29. Vaughn Robert, Roderick Robert L. - West. Mach and Steel wold, 1966, № 2.
30. Сидоров В.С., Бузник Е.Н. - В кн. : Высокопроизводительный режущий инструмент. - М., ДНТП, 1974.
31. Mass Margaret. A. - Desing News, Vol. 21. 1966, № 14.
32. Никитенко И.И. - Технология и организация производства, 1973, вып. 7.

33. Ступина Л.В., Коротун Н.Н. Исследование динамических и стойкостных характеристик при ротационном точении // Резание и инструмент. Харьков. - 1983. - № 29. - С. 72-74.
34. А.с. 554954 СССР, МКИ В23С 3/16. Способ обработки торовых поверхностей. - БИ № 15, 1977.
35. А.с. 910365 СССР, МКИ В23В 1/00. Способ обработки резанием самовращающимся многолезвийным инструментом. - БИ № 9, 1982.
36. А.с. 682328 СССР, МКИ В23Д 37/00. Способ протягивания деталей самовращающимся многолезвийным инструментом - БИ №9, 1982.
37. Ермаков Ю.М.- Технология и оборудование обработки металлов резанием. 1989, вып. 3.
38. Землянский В.А., Лушкин Б.В. Обработка высокопрочных материалов с самовращающимися резцами. - К.: Техніка, 1980.

*Навчальне видання*

Борис Миколайович Пентюк  
Ростислав Дмитрович Іскович-Лотоцький  
Анатолій Леонідович Штурма

## **Прогресивні конструкції та використання ротатійних інструментів**

Навчальний посібник

Оригінал – макет підготовлено авторами

Редактор В.О.Дружиніна

Підписано до друку *28.02.2004р.*

Формат 29.7x42<sup>1/4</sup>

Гарнітура Times New Roman

Друк різнографічний Ум.друк.арк.438

Зам. № 2001 - 035

Тираж 75 прим.

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі  
Вінницького державного технічного університету  
21021, м.Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВДТУ, ГНК, 9-й поверх  
Тел. (0432) 44-01-59