

Лекція 10
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 8 ФРЕЗИ
Тема 9 Фрези

1 Загальні відомості про фрезерування. Призначення та основні типи фрез

Фрезерування є одним з найбільш поширених методів обробки. За рівнем продуктивності воно перевершує стругання і в умовах крупносерійного виробництва поступається лише зовнішньому протягуванню.

Кінематика процесу фрезерування характеризується швидким обертанням інструменту навколо його осі і повільним рухом подачі. Рух подачі при фрезеруванні може бути прямолінійно-поступальним, обертальним або гвинтовим.

При прямолінійному русі подачі фрезами проводиться обробка різноманітних циліндричних поверхонь: площин, різноманітних пазів і канавок, фасонних циліндричних поверхонь (рис. 1).

При обертальному русі подачі фрезеруванням обробляють поверхні обертання, а при гвинтовому русі подачі – різноманітні гвинтові поверхні, наприклад, стружкові канавки інструментів, западини косозубих коліс тощо.

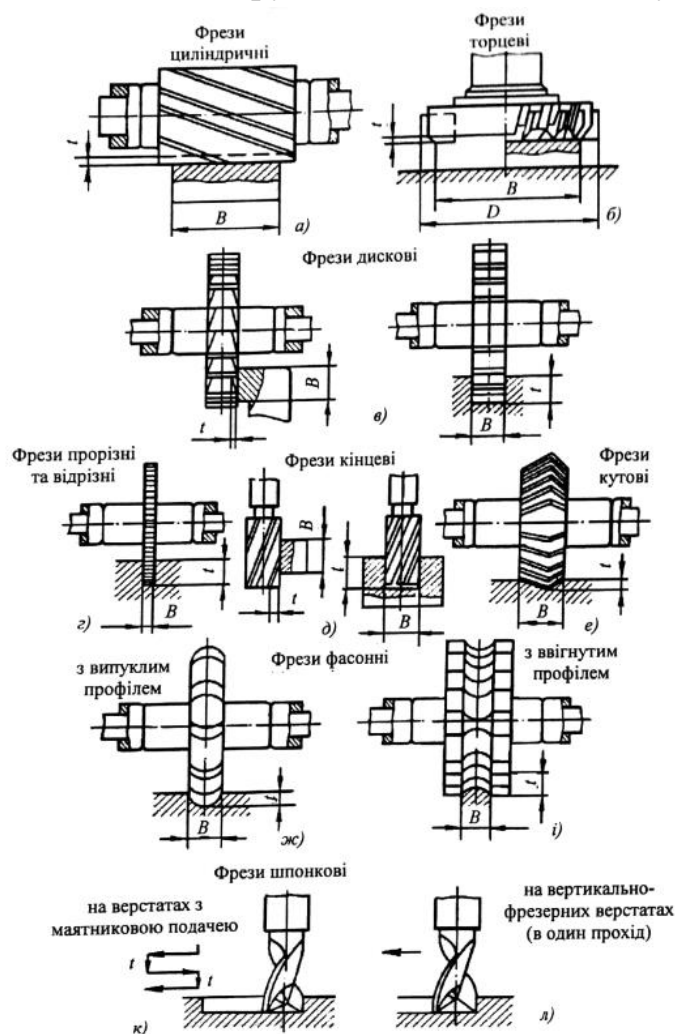


Рисунок 1 – Схеми фрезерування

Фреза – це багатолезвийний різальний інструмент, зуби якого послідовно вступають в контакт з оброблювальною поверхнею в процесі різання.

Фреза є початковим тілом обертання, яке в процесі обробки торкається поверхні деталі і на поверхні якого утворені різальні зуби. Форма початкового тіла обертання залежить від форми обробленої поверхні та розташування осі фрези відносно деталі. Змінюючи положення осі інструменту відносно обробленої поверхні, можна спроектувати різні типи фрез, призначених для виготовлення заданої деталі.

Різноманіття операцій, що виконуються на фрезерних верстатах, зумовило різноманітність типів, форм і розмірів фрез.

За призначенням фрези поділяються на фрези: для обробки площин, пазів уступів, фасонних поверхонь, прорізання, відрізання, обробки різьби та зубів.

За положенням осі інструмента відносно оброблювальної поверхні фрези поділяють на: циліндричні, дискові, відрізні, кутові, фасонні, сегментні тощо; торцеві, кінцеві, шпонуові, для Т-подібних пазів тощо.

За способом закріплення фрези поділяють на хвостові та насадні.

За конструктивним виконанням – цільні та збірні.

Основні типи фрез можна класифікувати наступним чином:

1 Фрези з гострозаточеними зубами.

2 Фрези з затилованими зубами.

За розташуванням зубів відносно осі фрези:

1 Циліндричні з зубами на твірному циліндрі.

2 Кутові або конічні з зубами на твірному конусі.

3 Торцеві з зубами в площині, перпендикулярній осі фрези.

4 Фасонні з зубами на фасонній поверхні.

За формою зуба:

1 З прямими зубами.

2 З гвинтовими зубами.

3 З кутовими зубами.

За конструкцією інструмента:

1 Цільні фрези.

2 Збірні (складаються з двох частин – пазові).

3 Набірні (складаються з декількох окремих фрез).

4 Зі вставними зубами.

За інструментальним матеріалом:

1 Виготовлені із швидкорізальної сталі.

2 Твердосплавні.

3 Оснащені мінералокерамікою.

4 Оснащені надтвердими матеріалами.

Фрези призначені для чорнової, напівчистої та чистої обробки плоских та фасонних поверхонь. Вони забезпечують високу продуктивність та

економічність, дозволяють отримати поверхню достатньо правильної форми і необхідної шорсткості.

Циліндричні фрези (рис. 1, а) застосовуються на горизонтально-фрезерних верстатах при обробці площин. Ці фрези можуть бути з прямими і гвинтовими зубами.

Фрези з гвинтовими зубами працюють плавно. Вони широко застосовуються на виробництві.

Фрези з прямими зубами використовуються лише для обробки вузьких площин, де переваги фрез з гвинтовим зубом несуттєво впливають на процес різання.

При роботі циліндричних фрез з гвинтовими зубами виникають осьові зусилля, які при куті нахилу зуба $\omega = 45^\circ$ досягають значної величини. Тому застосовують циліндричні здвоєні фрези (рис. 2), у яких гвинтові різальні зуби мають різний напрям нахилу. Це дозволяє зрівноважити осьові зусилля, що діють на фрези в процесі різання. У місці стику фрез передбачається перекриття різальних кромek однієї фрези різальними кромками іншої.

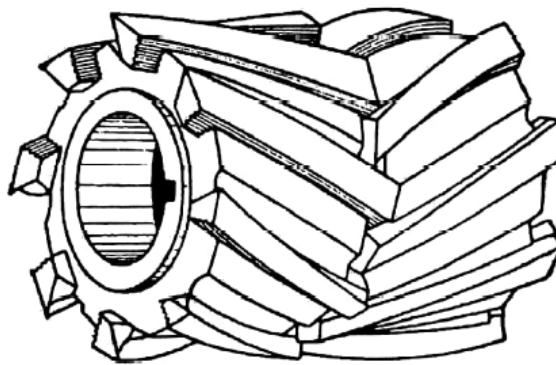


Рисунок 2 – Циліндричні здвоєні фрези

Циліндричні фрези виготовляють зі швидкорізальної сталі, а також оснащуються твердосплавними пластинками, плоскими і гвинтовими.

Торцеві фрези (рис. 1, б) широко застосовуються при обробці площин на вертикально-фрезерних верстатах. Вісь їх встановлюється перпендикулярно до обробленої площини деталі. На відміну від циліндричних фрез, де всі точки різальних кромek є профілюючими і формують оброблену поверхню, у торцевих фрез тільки вершини різальних кромek зубів є профілюючими. Торцеві різальні кромки є допоміжними. Головну роботу різання виконують бічні різальні кромки, розташовані на зовнішній поверхні.

Оскільки на кожному зубі тільки вершинні зони різальних кромek є профілюючими, форми різальних кромek торцевої фрези, призначеної для обробки плоскої поверхні, можуть бути найрізноманітнішими.

У практиці знаходять застосування торцеві фрези з різальними кромками у формі ламаної лінії або кола, причому кути в плані ϕ на торцевих фрезах можуть змінюватися в широких межах.

Найчастіше кут в плані ϕ на торцевих фрезах приймається рівним 90° або $45-60^\circ$. З погляду стійкості фрези його доцільно вибирати найменшим за величиною, що забезпечує достатню вібростійкість процесу різання і задану точність обробки деталі.

Торцеві фрези забезпечують плавну роботу навіть при невеликій величині припуску, оскільки кут контакту із заготовкою у торцевих фрез не залежить від величини припуску і визначається шириною фрезерування та діаметром фрези.

Торцева фреза може бути масивнішою та жорсткішою в порівнянні з циліндричними фрезами, що дає можливість зручно розміщувати і надійно закріплювати різальні елементи і оснащувати їх твердими сплавами.

Торцеве фрезерування забезпечує зазвичай більшу продуктивність, ніж циліндричне. Тому в даний час більшість робіт по фрезеруванню площин виконуються торцевими фрезами.

Дискові фрези пазові, дво- і тристоронні (рис. 3) використовуються при фрезеруванні пазів і канавок. Пазові дискові фрези мають зуби тільки на циліндричній поверхні і призначені для обробки відносно неглибоких пазів (рис. 3, а).

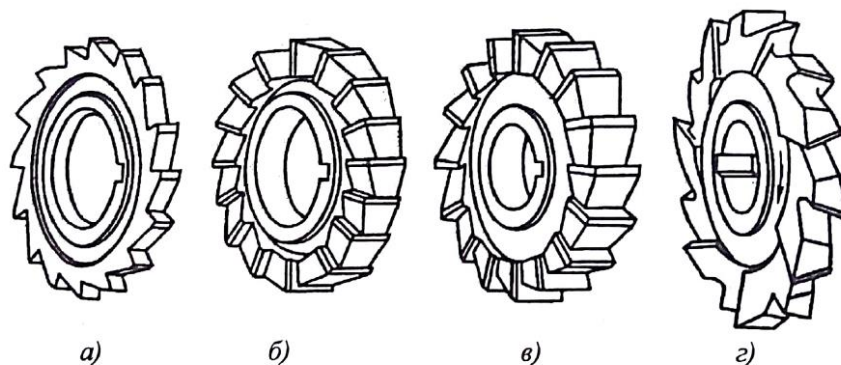


Рисунок 3 – Дискові фрези для обробки пазів

Для зменшення тертя по торцях на пазових фрезах передбачається допоміжний кут в плані ϕ_1 порядку $30'$, тобто товщина фрези робиться на периферії більшою, ніж в центральній частині біля маточини.

Важливим елементом пазової фрези є її товщина, яка виконується з допуском $0,04...0,05$ мм. В міру сточування зубів, в результаті піднутрення, товщина фрези зменшується. Проте це немає практичного значення, оскільки величина зменшення невелика.

Дискові, дво- (рис. 3, б) і тристоронні (рис. 34, в) фрези мають зуби, розташовані не тільки на циліндричній поверхні, але і на одному або обох торцях. Головні різальні кромки розташовуються на циліндрі. Бічні різальні

кромки, розташовані на торцях, беруть незначну участь в різанні і є допоміжними.

Дискові фрези мають прямі або похилі зуби.

У фрез з прямими зубами на торцевих кромках передні кути рівні нулю, що погіршує умови їх роботи.

Щоб отримати у двосторонніх фрез на бічних кромках позитивні передні кути, застосовуються фрези з похилими зубами. З цією ж метою тристоронні фрези виконуються з різноспрямованими зубами (рис. 3, г). Вони працюють всіма зубами, розташованими на циліндрі. На торцях же половина зубів, що мають від'ємні передні кути, зрізана.

Проте ці фрези мають високу продуктивність, не дивлячись на частково зрізані зуби.

Для прорізання вузьких пазів і шліців на деталях, а також розрізання матеріалів застосовуються тонкі дискові фрези, які називають пилами. У таких фрез по черзі то з одного, то з іншого торця заточуються фаски під кутом 45° .

Фаска зрізає зазвичай $1/5 \dots 1/3$ довжини різальної кромки. Тому кожен зуб зрізає стружку, ширина якої менша ширини паза, що прорізається. Це дозволяє вільніше розміщуватися стружці в западині зуба і покращує її відведення. При ширині зрізу, рівній ширині паза, торці стружки торкаються бічних сторін паза, який прорізається, що утруднює вільне завивання та розміщення стружки в западині зуба і може призвести до заклинювання зубів і поломки фрези.

Кутові фрези (рис. 4) використовуються при фрезеруванні кутових пазів і похилих площин.

Однокутові фрези (рис. 4, а) мають різальні кромки, розташовані на конічній поверхні та торці. Двокутові фрези (рис. 4, б) мають різальні кромки, розташовані на двох суміжних конічних поверхнях.

Кутові фрези знаходять широке застосування в інструментальному виробництві для фрезерування стружкових канавок різних інструментів.

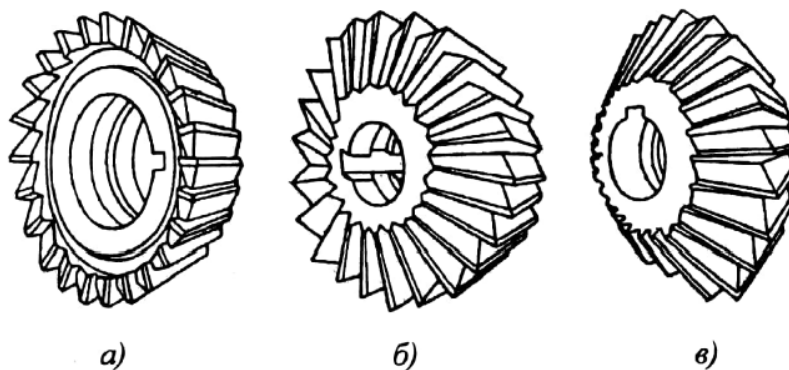


Рисунок 4 – Кутові фрези

В процесі роботи однокутовими фрезами виникають осьові зусилля різання, оскільки зрізання металу заготовки виконується в основному різальними кромками, розташованими на конічній поверхні. У двокутових же фрез осьові зусилля, що виникають при роботі двох суміжних кутових кромки зуба, трохи компенсують одне одного, а при роботі симетричних двокутових фрез (рис. 4, в) вони взаємно врівноважуються. Тому двокутові фрези працюють плавніше.

Кутові фрези малих розмірів виготовляються кінцевими (рис. 5) з циліндричним або конічним хвостовиком.

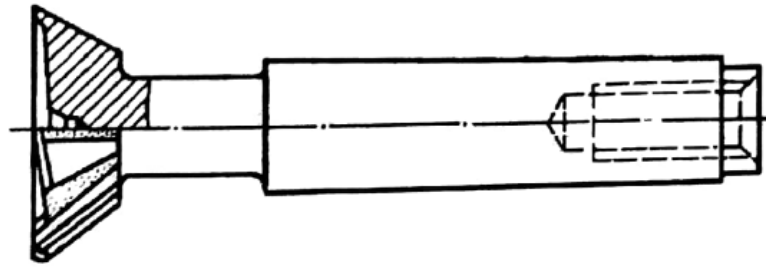


Рисунок 5 – Кінцева кутова фреза

Товщина зрізу кутових фрез змінюється по довжині кромки. Вона має максимальне значення на вершині зуба і зменшується при віддаленні від неї, вздовж різальної кромки, тобто при зменшенні радіуса даної точки кромки. Це може призвести до того, що ділянками кромки, розташованими біля малих торців, можуть зрізатися незначні товщини зрізу, сумірні з радіусом заокруглення різальної кромки. Це несприятливо відбивається на характері протікання процесу різання, оскільки при значних від'ємних передніх кутах на радіусі заокруглення в зоні контакту спостерігаються значне нагрівання, великі зусилля і швидке зношування інструменту. Щоб на цих ділянках забезпечити нормальні умови роботи, доцільно зменшити число працюючих зубів вдвічі, зрізаючи їх через один зуб.

Необхідність зменшення числа зубів на малих діаметрах іноді викликається тим, що при проектуванні кутових фрез виникають утруднення у виборі числа зубів.

У зоні, розташованій ближче до центра, важко буває розмістити число зубів, рівне числу зубів на вершині фрези. Це пояснюється великою різницею в колових кроках зубів на найбільшому і найменшому діаметрах фрези. Зуби, розташовані на меншому діаметрі, виходять невеликими по висоті, що може призвести до забивання канавок стружкою.

Вершину кутової фрези необхідно заокруглювати, щоб уникнути швидкого зношування.

Кінцеві фрези (рис. 6) застосовуються для обробки глибоких пазів у корпусних деталях контурних виїмок, уступів, взаємно перпендикулярних площин.

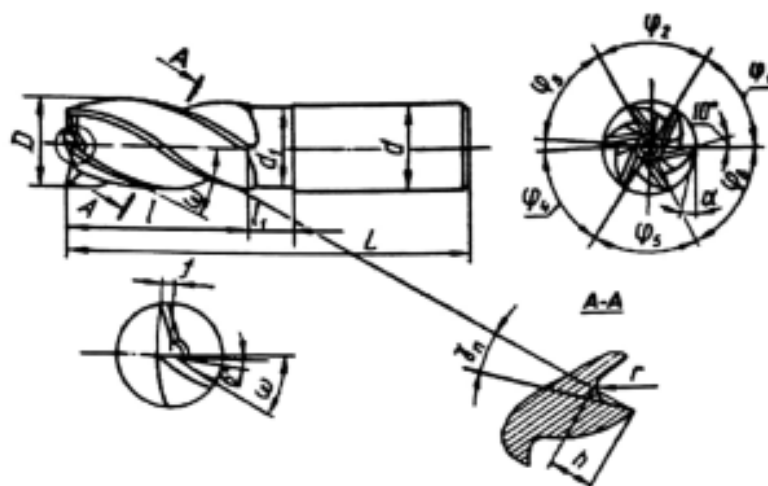


Рисунок 6 – Кінцева фреза

Кінцеві фрези у шпинделі верстата кріпляться конічним або циліндричним хвостовиком. У цих фрез основну роботу різання виконують головні різальні кромки, розташовані на циліндричній поверхні, а допоміжні торцеві різальні кромки тільки зачищають дно канавки. Такі фрези, як правило, виготовляються з гвинтовими або похилими зубами. Кут нахилу зубів доходить до $30-45^\circ$. Діаметр кінцевих фрез вибирають меншим (до 0,1 мм) ширини канавки, оскільки при фрезеруванні спостерігається розбивання канавки.

Різновидом кінцевих фрез є **шпонкові двозубі фрези** (рис. 7), які подібно до свердла можуть заглиблюватися в матеріал заготовки при осьовому русі подачі і висвердлювати отвір, а потім рухатися вздовж канавки. У момент осьової подачі основну роботу різання виконують торцеві кромки. Одна з них повинна доходити до осі фрези, щоб забезпечити свердління отвору.

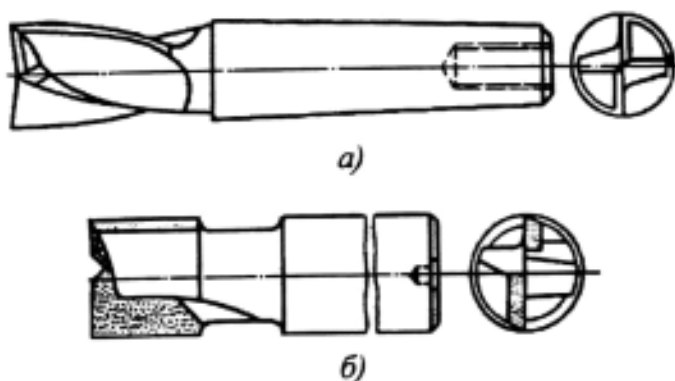


Рисунок 7 – Шпонкова фреза

Переточування таких фрез виконується по задніх поверхнях торцевих кромek, тому при переточуваннях їх діаметр зберігається незмінним.

Для обробки Т-подібних пазів, що часто зустрічаються у верстатобудуванні застосовують *Т-подібні фрези* (рис. 8).

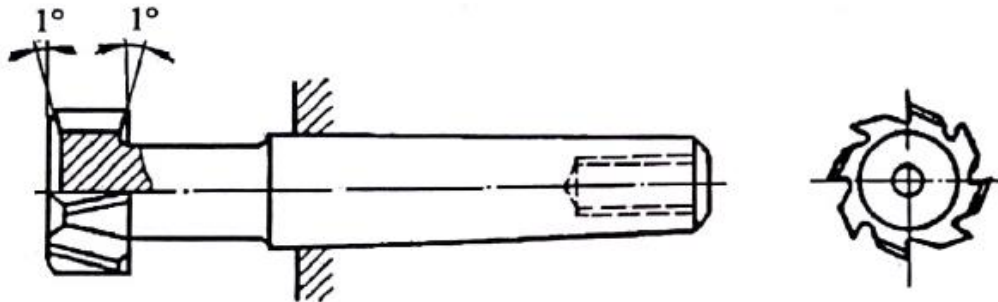


Рисунок 8 – Фреза для обробки Т-подібних пазів

Вони працюють у важких умовах і часто ламаються, що пояснюється утрудненням відведенням стружки. Кожен зуб працює двічі за один оберт фрези. Такі фрези виготовляються з різноспрямованими зубами і мають піднутрення з кутом $\varphi_1 = 1^\circ 30' \dots 2^\circ$ на обох торцях.

З метою поліпшення умов розміщення стружки проводять заточування фасок на зубах то з одного, то з іншого торця під кутом 30° і шириною 0,5 мм.

Фасонні фрези набули значного поширення при обробці різноманітних фасонних поверхонь. Переваги застосування фасонних фрез особливо сильно виявляються при обробці заготовок з великим відношенням довжини до ширини поверхонь, що фрезеруються. Короткі фасонні поверхні в умовах крупносерійного виробництва краще обробляти протягуванням.

Фасонні фрези за конструкцією зубів поділяються на фрези із затилованими зубами і фрези із гострокінцевими зубами.

Фасонні затиловані фрези (рис. 9) мають плоску передню поверхню, по якій переточуються в процесі експлуатації. Новою та переточеною фрезою можна обробляти одні й ті ж деталі, якщо форма фасонної різальної кромки при переточуваннях не змінюється. Для цього необхідно вибрати відповідну форму задньої поверхні зуба фрези.

Задня поверхня зуба затилованої фрези з переднім кутом $\gamma = 0$ – це сукупність фасонних різальних кромek, постійних за формою і розміщених в радіальних площинах Р на різних відстанях від осі фрези. При переході від передньої площини нової фрези до спинки зуба відстань від осі до різальної кромки зменшують, щоб отримати додатні задні кути на різальній частині.

Фасонні фрези із гострокінцевими зубами (рис. 10), на відміну від затилованих фрез, заточують по задніх поверхнях зубів. Гострокінцеві фасонні фрези дають чистішу поверхню, мають підвищену стійкість в порівнянні із затилованими фасонними фрезами.

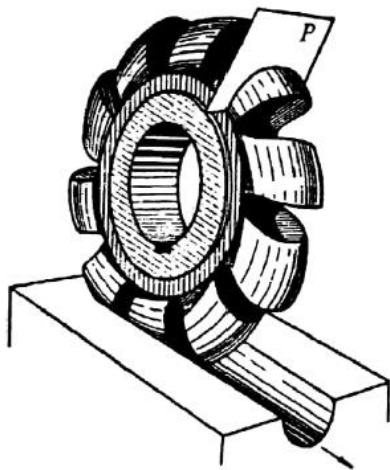


Рисунок 9 – Фасонна затилована фреза

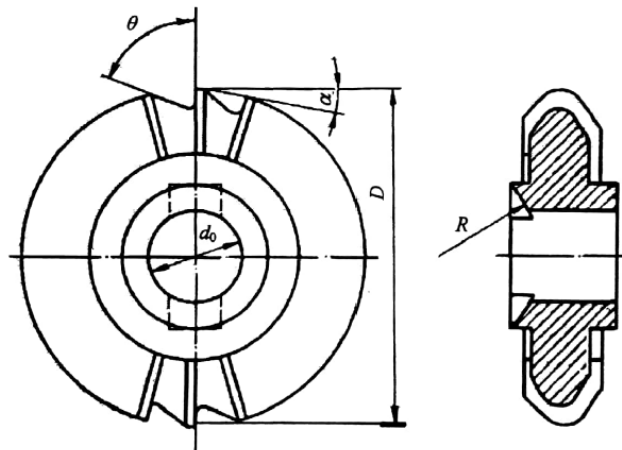


Рисунок 10 – Фасонна фреза із загостреними зубами

Проте виготовлення і переточування цих фрез вимагають спеціальних пристосувань і копіювальних пристроїв, що забезпечують отримання точного контуру фасонних різальних кромок як при їх виготовленні, так і при їх переточуванні. Тому фасонні фрези із гострокінцевими зубами застосовуються в умовах крупносерійного і масового виробництва.

Знаходять застосування також **збірні фасонні фрези**, в яких необхідний фасонний профіль утворюється як обвідна крива до сукупності простих за формою кромek окремих її різальних елементів. Так, на рис. 11 наведена конструкція збірної фасонної фрези з круглими пластинками твердого сплаву для обробки профілю залізничних коліс.

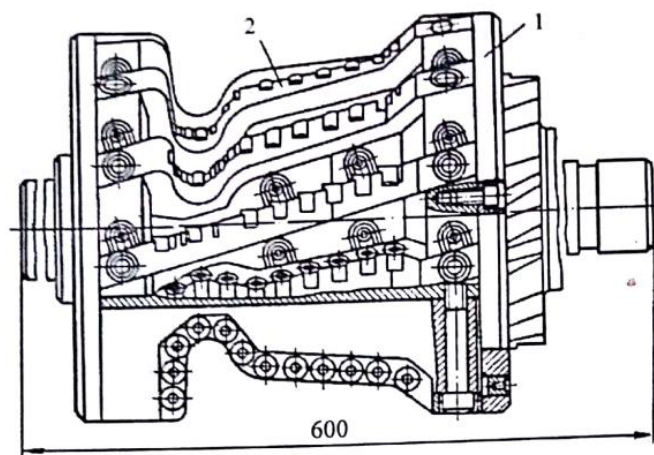


Рисунок 11 – Збірна фасонна фреза

Фреза складається з корпусу 1, в пазах якого кріпляться рейки 2 із закріпленими на них круглими твердосплавними пластинками діаметром 12-16 мм. Для отримання необхідної чистоти обробленої поверхні гнізда під пластинки на суміжних рейках зміщені одне відносно одного на 1,5-2,0 мм.

Одним з нових методів фрезерування є *голкофрезерування*.

Голкофреза є корпусом, в якому закріплена велика кількість пучків дроту діаметром 0,2-0,3 мм. Кожен дріт виконує роль мікрорізня.

У машинобудуванні такі фрези можуть застосовуватися при чистовій обробці площин для отримання шорсткості $Ra = 2,5 \dots 1,25$ мкм.

Голкофрезою знімається за один прохід шар металу завтовшки від сотих часток міліметра до 1 мм.

2 Конструктивні елементи та геометричні параметри циліндричних фрез

Особливістю конструкцій циліндричних фрез є розташування головних різальних кромки на циліндрі, вісь якого співпадає з віссю обертання інструменту, паралельній оброблюваній поверхні.

У циліндричних фрез немає допоміжних різальних кромки, і вони працюють в умовах вільного різання.

Для зниження коливань сил різання та вібрацій зубці циліндричних фрез часто роблять гвинтовими. При цьому виникає небажана осьова складова сили різання. Проте умови відведення стружки із зони різання фрез з гвинтовими зубцями значно краще, ніж фрез з прямими зубцями.

Циліндричні фрези з великим зубцем призначені для зняття великих припусків та особливо ефективні при обробці площин великої площі. З метою економії швидкорізальної сталі фрези великих діаметрів роблять збірними зі вставними різальними зубцями, а корпуси фрез виготовляють з конструкційної сталі

Основними розмірами циліндричних фрез є довжина фрези L , діаметр фрези D , діаметр отвору d , число зубів z (рис. 12).

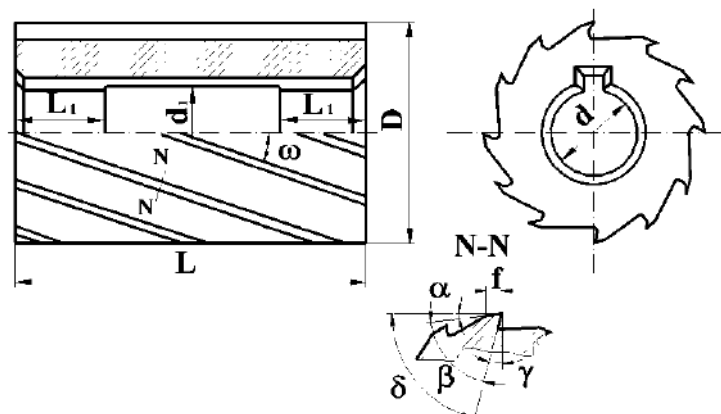


Рисунок 12 – Циліндрична фреза

Для вимірювання геометричних і конструктивних елементів фрези використовують наступний вимірювальний інструмент: вимірювальну лінійку, універсальний кутомір, маятниковий кутомір, штангенциркуль. Діаметр D (мм) фрези вимірюють штангенциркулем.

Ширину B насадних фрез і довжини L, L_1, L_2, L_3 кінцевої фрези (мм) - вимірювальною лінійкою.

Геометричні параметри циліндричної фрези показані на рис. 2. Способи вимірювання геометричних параметрів однакові для всіх типів фрез, за винятком збірної твердосплавної фрези, у якій ножі за конструкцією і геометрії нагадують різці.

Головний передній γ та задній α кути вимірюються у головній січній площині, тобто у площині NN , яка перпендикулярна до головної різальної кромки у точці, яка розглядається.

Допоміжні передній γ_1 і задній α_1 кути розглядаються в торцевій площині, а, саме, в січній площині, перпендикулярної до допоміжної різальної кромки у розглянутій точці. Вимірювання допоміжного заднього кута α_1 здійснюють за допомогою маятникового кутоміра. Допоміжний передній кут γ_1 вимірюється аналогічно куту підйому гвинтових зубців ω і, отже, рівний йому.

Кут підйому гвинтових зубців ω знаходять безпосереднім виміром його за слідом гвинтової лінії фрези на площині. Гвинтові лінії фрези розгортають методом накатки через копіювальний папір.

Кут нахилу головної різальної кромки λ вимірюється аналогічно куту підйому гвинтових зубців і, отже, рівний йому.

Крок гвинтової лінії H (мм) є дуже важливим елементом фрези, який визначається за формулою. Кут різання фрези в головній січній площині визначають за формулою. Головний кут загострення в головній січній площині визначається за формулою.

Допоміжний кут загострення в січній площині, перпендикулярної до допоміжної різальної кромки:

- вимірюють за допомогою універсального кутоміру;
- визначають за формулою.

3 Набори фрез

Набір фрез представляє собою групу фрез, підібраних за профілем і розмірами обробленої поверхні деталі та закріплених на одній загальній оправці (рис. 13). При цьому одночасно обробляється ряд поверхонь однієї або декількох заготовок.

Скорочення числа операцій, установів і переходів підвищує продуктивність. Застосування наборів фрез забезпечує також більшу точність та якість деталей в порівнянні з обробкою окремими фрезами.

При проектуванні набору фрез задаються діаметром найменшої фрези, а діаметри інших фрез визначаються виходячи з розмірів і взаємного розташування оброблюваних поверхонь.

Необхідно за можливістю уникати великої різниці в діаметрах фрез, оскільки в цьому випадку важко забезпечити для всіх фрез набору доцільні режими різання. Наприклад, число обертів оправки, вибране відповідно до прийнятої оптимальної швидкості різання для найменшої по діаметру фрези, не буде оптимальним для фрези більшого діаметру, якщо обидві порівнювані фрези виготовлені з одного інструментального матеріалу. У даному випадку також важко забезпечити розміри діаметрів посадочних отворів для всіх фрез набору.

Для розташування фрез на оправці і забезпечення при цьому необхідної відстані між ними користуються встановлювальними кільцями різної ширини.

Кільця можуть бути регульовані та нерегульовані.

Регульовані кільця дозволяють без знімання фрез з оправки міняти відстань між ними, що виключає необхідність застосування точних жорстких встановлювальних кілець.

Плавна робота набору досягається спеціальним встановленням зубів фрез відносно один одного. Для цього шпонкові канавки у фрезах розташовуються так, щоб вони були зміщені по відношенню до зуба на різні кути. В результаті цього зуби окремих фрез входять в роботу в різні моменти часу, і весь набір утворює ніби одну фрезу з гвинтовим зубом. При виготовленні та переточуваннях набору фрези забезпечуються другою шпонковою канавкою, яка у всіх фрез розташовується однаково по відношенню до зуба.

Набори фрез доцільно складати з фрез із гострозаточеними зубами або з фрез із затилованими зубами.

У різнотипних фрез при переточуваннях їх діаметри змінюються за різними законами, що може призвести до спотворення профілю деталі. Набори фрез використовуються як при обробці переривчастих, так і при обробці суцільних профілів деталі.

Для суцільного профілю необхідне перекриття зубів двох сусідніх фрез, щоб уникнути утворення задирок і рисок на деталі, відновлення осьових розмірів профілю набору, які можуть змінюватися в результаті переточувань.

Перекриття зубів фрез набору може забезпечуватися різними способами (рис. 14) за допомогою торцевих кулачкових виступів (рис. 14, а, б), що входять у відповідні пази сусідньої фрези, похилих торцевих площин фрез, що дотикаються, розташування виступаючих з корпусу зубів збірної фрези у западинах спряженої фрези (рис. 14, в). У тому випадку, коли набір складається з фрез різного діаметра, обмежуються піднутренням (рис. 14, г) або виточкою на торці великої фрези (рис. 14, д), куди входить фреза меншого діаметра, створюючи перекриття зубів.

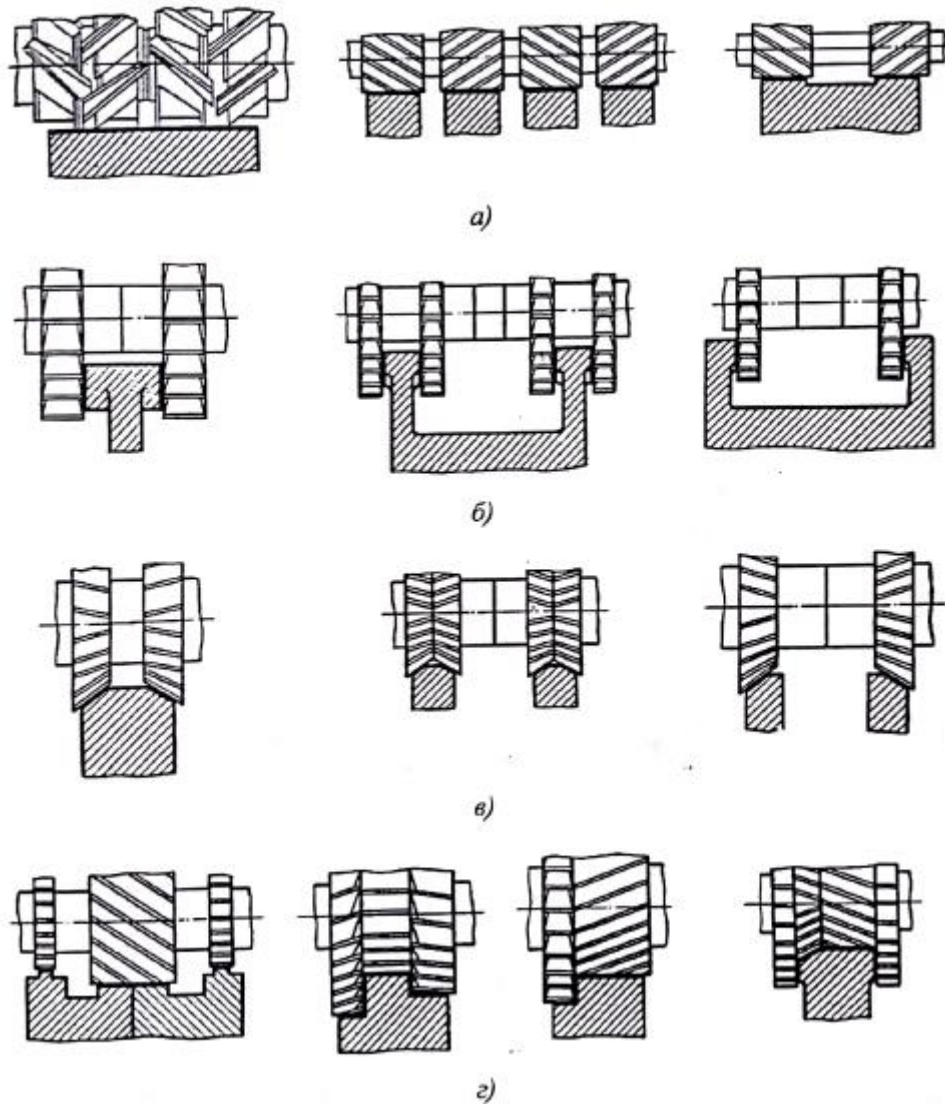


Рисунок 13 – Схеми наборів фрез

Набори фрез застосовуються, головним чином, на горизонтально-фрезерних верстатах.

Конструюючи набір фрез і уточнюючи область їх доцільного застосування, необхідно враховувати, що значні зусилля, які спостерігаються при фрезеруванні, не повинні перевищувати допустимих значень по потужності верстата, міцності та жорсткості оправки і деталі, міцності кріплення деталі у пристосуванні.

З цієї точки зору не потрібно застосовувати набори фрез з широким профілем при обробці нежорстких деталей і деталей, що легко деформуються.

При високих вимогах до точності або великої глибини різання доцільно вести обробку за декілька проходів чорновими і чистовими наборами.

В інструментальному виробництві набори фрез знаходять застосування при фрезеруванні стружкових канавок мітчиків, розверток та інших інструментів.

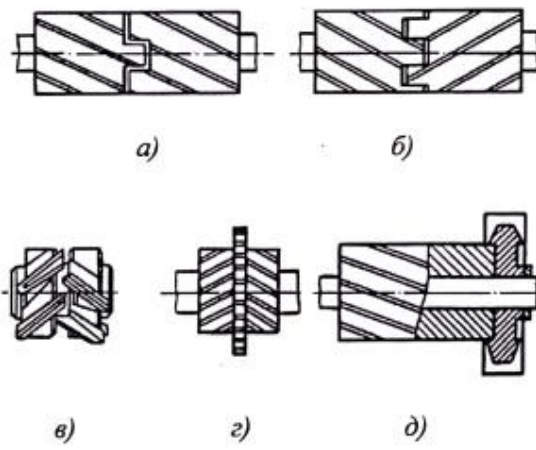


Рисунок 14 – Способи перекриття зубів фрез набору