

**Р. П. ДІДИК, Ю. В. ТКАЧОВ,
В. Г. ОЛЕЙНИЧЕНКО, В. А. МЕЛЕЩИК,
А. В. САВОСТЕНКО**

МЕТОДОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ І УМОВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів машинобудівних
спеціальностей вищих навчальних закладів*

УДК 621.9 (075.8)

ББК 34.5я73

М 54

Рецензенти:

член науково-методичної комісії за напрямком «Інженерна механіка» Міністерства освіти і науки України, д-р техн. наук, професор, зав. кафедрою технології машинобудування Національного технічного університету України «Київська політехніка» **Ю. В. Петраков**; заслужений діяч науки і техніки України, д-р техн. наук, професор, зав. кафедрою технології машинобудування Національної металургійної академії України **О. Є. Проволоцький**; заслужений машинобудівник України, голов. технолог ДП «ВО Південний машинобудівний завод ім. О. М. Макарова» **В. О. Туров**.

*Рекомендовано вченою радою Національного гірничого університету
(протокол №11 від 22.12.2005)*

*Гриф надано Міністерством освіти і науки України
(лист №14/18.2—257 від 03.02.2006)*

М 54 Методологія визначення параметрів і умов механічної обробки матеріалів / Дідик Р. П., Ткачов Ю. В., Олейниченко В. Г., Мелешик В. А., Савостенко А. В.: Навч. посіб. — Д.: НГУ, 2005. — 164 с.

ISBN 966-350-030-1

Наведена загальна методика та основні принципи проектування технологічних процесів механічної обробки різанням. Докладно розглянуті питання розрахунку режимів різання при точінні, свердлінні, фрезеруванні, розрізуванні, різьбонарізуванні й протягуванні для одноінструментальної та багатоінструментальної обробок. Наведені теоретичні відомості та дані, які необхідні для виконання розрахункових завдань, контрольних і курсових робіт, курсових та дипломних проектів.

Для студентів вищих навчальних закладів машинобудівних спеціальностей, які навчаються за напрямком «Інженерна механіка», а також аспірантів, інженерів та науково-технічних працівників у галузі машинобудування.

Навчальний посібник укладений відповідно до «Методичних рекомендацій щодо структури, змісту та обсягів підручників і навчальних посібників для вищих навчальних закладів» (лист від 01.08.2005 р. №1/9—398)

ISBN 966-350-030-1

© Дідик Р. П., Ткачов Ю. В., Олейниченко В. Г.,
Мелешик В. А., Савостенко А. В., 2005
© НГУ, 2005

ВСТУП

Розробка технологічного процесу механічної обробки, як і будь якого іншого, ведеться на основі двох принципів — технічного й економічного. Технічним принципом є абсолютне виконання усіх вимог креслення й технічних умов на виготовлення виробу. Економічним принципом є виготовлення виробу з мінімальними затратами праці та видатками виробництва. Іншими словами, найбільш раціональним варіантом розроблюваної технології буде такий, що забезпечує необхідний рівень якості продукції та характеризується найбільшою продуктивністю й економічністю. Вивчення закономірностей, що мають місце в процесі обробки матеріалів різанням, удосконалення конструкцій різальних інструментів, пристроїв і металорізальних верстатів є дуже необхідним як для раціонального керування процесами різання, так і для розробки та впровадження більш досконалих технологічних процесів виготовлення деталей машин, апаратів і приладів.

Одним з основних методів виробництва в машинобудуванні є механічна обробка. На більшості машинобудівних заводів обробка різанням становить 45–60% від загальної трудомісткості виготовлення машин. Сучасне машинобудування характеризується широким застосуванням високопродуктивних металорізальних верстатів із числовим програмним управлінням, обчислювальною технікою й автоматизованих технологічних комплексів, що працюють за принципом «безлюдної технології». Застосовуються високопродуктивні технологічні процеси обробки різанням в умовах місцевого нагрівання чи охолодження матеріалу, впливу магнітного поля і т. ін. Використання спеціальних методів обробки значною мірою зумовлено широким використанням існуючих і появою нових важкооброблюваних конструкційних матеріалів, а також необхідністю підвищення стійкості різального інструмента. Для виготовлення різальних інструментів використовуються нові надтверді композиційні металокерамічні матеріали, синтетичні й природні алмази.

Залежно від форми деталей, характеру оброблюваних поверхонь і вимог до них, обробку можна виконувати різними способами: механічним (точіння, фрезерування, стругання, свердління, протягування, шліфування та ін.), електрофізичним і електрохімічним (електроіскрова, електроконтактна, анодно-механічна, хімічна, хіміко-механічна, електрохімічна обробка), ультразвуковим, променевими (обробка електронним променем, світловим променем). Кожний із способів обробки здійснюється на відповідному устаткуванні та має свою галузь раціонального застосування.

Розділ 1

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Завдання на проектування технологічного процесу є офіційним документом для його створення. Одним із головних завдань технології машинобудування є створення наукових основ для проектування оптимальних технологічних процесів обробки деталей і складання виробів. Проектування технологічних процесів характеризується, по-перше, багатоваріантністю можливих рішень, кожне з яких може забезпечити задані кресленням вимоги, технічні умови й програму випуску. На кожному етапі проектування приймається єдине рішення, наприклад, при виборі заготовки, баз, операцій обробки деталей та при розрахунках режимів обробки. По-друге, всі операції та етапи проектування технологічних процесів мають бути взаємозалежними. Це забезпечує послідовні наближення (ітерації) при проектуванні та зумовлює прийняття раціонального рішення, тобто на кожному новому етапі проектування уточнюються дані попередніх варіантів технологічних процесів. **При проектуванні технологічних процесів необхідно виділити такі стадії:**

- уточнення початкових даних, аналіз критеріїв і підготовка до проектування технологічного процесу;
- аналіз виробничої програми та вибір типу виробництва;
- аналіз початкових даних і вибір заготовки;
- розробка маршрутної технології — схеми або плану технологічного процесу;
- розробка окремих операцій — операційної технології;
- розрахунки загальних показників технологічного процесу, техніко-економічний аналіз і вибір найбільш раціонального варіанта.

У свою чергу, ці стадії **складаються з послідовних етапів**. Для механічної обробки вони будуть такими:

- призначення й уточнення початкових даних для проектування та встановлення критеріїв вибору варіанта проектованого технологічного процесу;
- вивчення й аналіз креслення деталі або виробу, призначення технічних умов і заданої програми;
- вибір типу виробництва;
- вивчення властивостей матеріалу й конфігурації деталі, вибір заготовки та методу її одержання;
- вибір методів та їх кількості для обробки кожної поверхні, попе-

реднє визначення операцій;

- розробка маршрутної технології, визначення кількості й порядку операцій, призначення обладнання;

- аналіз точності обробки та вибір методів контролю;

- визначення стратегії контролю в маршрутній технології;

- розрахунок припусків і проміжних розмірів на механічну обробку, розробка креслення заготовки;

- проектування операційної технології, тобто уточнення маршрутної технології та розробка переходів усіх операцій технологічного процесу;

- призначення установлювальних і вимірювальних баз та проектування технологічного приладдя;

- вибір та розрахунки режимів різання, призначення й розрахунків кількості різального інструмента;

- остаточний вибір устаткування й уточнення режимів обробки;

- нормування операцій, розрахунок кількості основних робітників, визначення коефіцієнта завантаження робочих місць;

- визначення кваліфікації, розряду та спеціальності основних робітників;

- розрахунок організаційно-технічних заходів і постачання робочих місць;

- розрахунок техніко-економічних показників та вибір остаточного варіанта технологічного процесу;

- завершальне уточнення технологічного процесу, перевірка його стабільності та впровадження у виробництво.

Початковими даними для проектування технологічного процесу механічної обробки є робоче креслення, креслення заготовки, технічні умови, виробнича програма, відомості про обладнання, нормативні й інструктивні матеріали, особливі вимоги та критерії оптимізації.

Робоче креслення — це основний документ на деталь, що містить необхідну кількість проєкцій, розмірів, перерізів і розрізів, який дозволяє уявити конфігурацію деталі. Воно необхідне для вибору оптимального варіанта виготовлення.

Технічні умови на виготовлення деталей указують на методи виготовлення, контролю й зберігання, а також формують вимоги до тари, транспортування, таврування тощо.

Креслення заготовки безпосередньо не відноситься до початкових даних. В окремих випадках заготовки можуть бути задані як початкові з вимогами щодо надійного й точного виготовлення окремих відповідальних поверхонь.

Виробнича програма або обсяг випуску дозволяє визначити тип виробництва (масове, серійне або одиничне), який впливає на методи одержання заготовок, ступінь концентрації та механізації операцій, вибір обладнання, нормування, визначення кількості робітників та ін.

Дані про обладнання дають можливість вибрати методи обробки, технологічну оснастку, режими різання тощо.

Нормативні й інструктивні матеріали допомагають прийняти конкретні рішення на основі попереднього виробничого досвіду. До них належать ДСТУ, ГОСТ, СТП, нормалі, нормативи, альбоми типових процесів, інструкції, каталоги обладнання й інструмента та ін.

Критеріями оптимізації технологічних процесів є забезпечення: мінімальної собівартості виготовлення деталі, мінімальної кількості основних робітників, максимальної продуктивності технологічного процесу, використання мінімальної виробничої площі та ін. Наприклад, забезпечення мінімальної собівартості при заданій продуктивності й надійності або забезпечення максимальної продуктивності при заданій собівартості й використанні певної кількості основних робітників.

Ступінь детальності опрацювання технологічного процесу залежить від виробничої програми й такту випуску, тобто від типу виробництва.

1.1. ВИБІР ТИПУ ВИРОБНИЦТВА

Залежно від виробничої програми, характеру продукції, а також технічних та економічних умов здійснення виробничого процесу усі виробництва умовно поділяються на три основних типи — одиничне, серійне (дрібносерійне, середньосерійне, великосерійне) і масове. Виробництво відносять до того чи іншого типу умовно, залежно від кількості виготовлюваних за рік деталей одного найменування й типорозміру.

Одиничне виробництво характеризується виготовленням виробів у одиничних екземплярах, які розрізняються за конструкцією та розмірами, причому повторюваність цих виробів мало ймовірна або зовсім відсутня. Одиничне виробництво є універсальним, пристосованим до виконання різноманітних завдань, тому що воно охоплює різні типи виробів і характеризується великою гнучкістю. Застосовуване устаткування й оснащення є універсальними, при цьому необхідні робітники високої кваліфікації.

В умовах одиничного виробництва доцільно використовувати багатойнструментальні верстати з числовим програмним управлінням (ЧПУ) або інтегровані виробничі системи, що складаються з декількох

взаємозамінних верстатів. Використання багатоінструментальних верстатів із ЧПУ виправдано в тому випадку, якщо:

- група виготовлюваних деталей складається з кількох виробів, має річну програму, яка не перевищує можливості одного верстата за його продуктивністю при нормальній експлуатації;

- не допускається переустановка та перезакріплення заготовок відповідно до вимог точності обробки;

- через значні габарити й велику масу заготовок їх переміщення ускладнене.

Серійне виробництво займає проміжне місце між одиничним і масовим. Для такого виробництва властиве виготовлення виробів партіями чи серіями, які складаються з однойменних, однотипних за конструкцією й однакових за розмірами деталей. Основним принципом цього типу виробництва є виготовлення всієї партії (серії) повністю. Поняття «партія» використовується стосовно кількості деталей, а поняття «серія» — стосовно кількості машин, виробництво яких починається одночасно. У серійному виробництві, залежно від кількості виробів у серії, їх характеристик і трудомісткості виготовлення, а також частоти повторюваності серій протягом року, розрізняють виробництво дрібносерійне, середньoserійне та великосерійне. Для серійного виробництва характерне застосування як універсальних, так і спеціалізованих, автоматизованих та агрегатних верстатів із використанням універсального переналагоджуваного оснащення. При цьому необхідні робітники середньої кваліфікації.

В умовах серійного виробництва обробку партії доцільно здійснювати на звичайних верстатах із ЧПУ або інтегрованих виробничих системах, що складаються із взаємодоповнюючих верстатів. Використання багатоінструментальних верстатів із ЧПУ з багатошпіндельними головками і багатоінструментальними наладками зазвичай знижує гнучкість виробничої системи, але істотно підвищує її продуктивність. Тому останні потрібно використовувати у великосерійному виробництві.

Масове виробництво характеризується виготовленням досить великої кількості однакових виробів шляхом безперервного виконання на робочих місцях тих самих, постійно повторюваних операцій. Технологічні операції виконуються на певних робочих місцях, розташованих у порядку виконання технологічного процесу. Деталь від верстата до верстата переміщується вручну чи за допомогою транспортних засобів. Для такого виробництва найбільш раціональним є застосування агрегатних верстатів, а також верстатів автоматів і напівавтоматів із використанням спеціального оснащення. Для виконання порівняно простих

операцій необхідні робітники низької кваліфікації.

В умовах масового виробництва незамінними є автоматичні лінії, що складаються з високопродуктивних спеціалізованих верстатів і верстатів-автоматів із системою ЧПУ, технологічні можливості яких не обмежуються тільки однією механічною обробкою заготовок.

1.2. ВИБІР ЗАГОТОВКИ ТА МЕТОДУ ЇЇ ОДЕРЖАННЯ

Вибрати заготовку означає встановити метод її одержання, намітити припуски на обробку кожної поверхні, розрахувати її розміри та призначити допуски на виготовлення. Для правильного вибору заготовки завжди необхідно враховувати: заданий матеріал і його технологічні властивості; розміри та форму деталі; виробничу програму випуску деталей, наявність технологічного обладнання для одержання заготовок; точність та якість поверхні деталі; спеціальні технічні умови виготовлення.

Вартість заготовки залежить від вартості матеріалу, що застосовується, та методу її виготовлення. Підвищення точності заготовки збільшує тривалість її одержання, але скорочує час на виготовлення деталі. У кожному конкретному випадку здійснюється оптимізація цих параметрів. Конструктор призначає марку матеріалу, точність, шорсткість поверхонь і геометричні розміри деталі. Керуючись цим, а також програмою випуску й можливостями виробництва, технолог призначає метод одержання заготовки.

Основні види заготовок такі: ливарні із сталі, чавуну й кольорових сплавів; ковані й штамповані із сталі та деяких кольорових сплавів; пресовані, штамповані, прокатні із сталі та кольорових сплавів; листові прокатні й пресовані; металокерамічні; із неметалевих матеріалів; а також заготовки із неметалевих, металевих і комбінованих композиційних матеріалів. Головним критерієм вибору заготовки є **коефіцієнт використання матеріалу**, який визначається відношенням маси деталі до маси заготовки.

$$K = \frac{m_d}{m_z} \geq 0,6,$$

де K — коефіцієнт використання матеріалу; m_d — маса деталі; m_z — маса заготовки.

Основними **методами одержання ливарних заготовок** є лиття в землю, у кокіль, під тиском, відцентрове, за виплавними моделями та коркове.

Лиття в земляні або піщані форми застосовують для одержання

простих за формою заготовок в умовах одиничного й дрібносерійного виробництва. У більшості випадків — це заготовки з плоскими поверхнями. Ливарні форми утворюються ручним способом за допомогою самої заготовки або її дерев'яної моделі. Після вилучення моделі з форми крізь ливарні отвори заливається метал. Цей метод використовується для одержання грубих заготовок великої маси. Він є дешевим та найпростішим, але забезпечує низьку точність і збільшує відходи матеріалу під час подальшої обробки.

Кокільне лиття відбувається в постійні або напівпостійні металеві форми — кокілі, які можна використовувати багато разів. Цей метод є високопродуктивним, він забезпечує зменшення припусків, тобто більш високу точність заготовки, яка залежить від точності кокілю. Зазвичай таке лиття застосовують в умовах серійного й масового виробництва для одержання заготовок із чавуну та кольорових сплавів, що мають форму тіл обертання.

Лиття під тиском здійснюється в металеві форми та застосовується для одержання заготовок ускладненої форми із сплавів кольорових металів. Також цей метод використовується для матеріалів, заготовки з яких не можна одержати іншими ливарними методами. Він забезпечує високу продуктивність, точність, міцність відливків і чистоту поверхні. Заготовки із сталі можна одержувати з мінімальною товщиною стінки близько 0,6 мм. Недоліком методу є порівняно малі габарити заготовок.

Відцентрове лиття застосовується для заготовок, які мають форму тіл обертання. Метал заливається в циліндричну або іншу форму. Під час обертання під дією відцентрових сил він розтікається по формі. Цим методом також можна одержувати біметалеві та безшовні трубчасті заготовки з матеріалів, які важко деформуються.

Лиття за виплавними моделями здійснюється у форми, які виготовляються за допомогою воскової, стеаринової або парафінової моделі заготовки. Воно застосовується для одержання високоточних заготовок із будь-яких ливарних матеріалів в умовах серійного й масового виробництва. Модель виготовляється у спеціальних прес-формах, далі покривається піском із клеєм у декілька шарів, кожний шар послідовно висушується. Після цього форма з моделлю всередині відпалюється. Під час відпалювання матеріал моделі розплавляється й витікає. В одержану форму заливається матеріал. Після остигання відливка форма руйнується. Цей метод забезпечує високу точність, чистоту поверхні й продуктивність. Маса заготовки може становити від декількох грамів до 10 кг. Коефіцієнт використання матеріалу досягає 0,96. Мінімальна тов-

щина стінки заготовки для алюмінію та його сплавів становить 0,8 мм.

Коркове лиття здійснюється в оболонкову форму. Воно забезпечує одержання заготовки високої точності, у тому числі з тонкими стінками. Точність розмірів заготовки становить 0,3—0,7 мм. Цей метод є відносно вартісним, за рахунок високої вартості й трудомісткості виготовлення оболонкових форм.

Виробництво кованих і штампованих заготовок здійснюється на кувальних та кувально-штампувальних молотах, гідравлічних кувальних пресах, горизонтально-кувальних машинах, ротаційних і електрокувальних машинах. За технологічними ознаками кування й штампування поділяються на гаряче, холодне й листове.

Метод одержання заготовок тиском без застосування спеціальних підкладних або закритих штампів називають **вільним куванням**. Матеріалом для одержання поковок зазвичай є прокат. У всіх випадках доцільним є відповідність найбільшого розміру прокату розмірам поковки. Під час кування матеріал, що знаходиться між бойками, розтікається в різні боки. Таким методом можна одержувати заготовки простої форми в умовах одиничного й дрібносерійного виробництва, а великі поковки—при будь якому типі виробництва. Кування також доцільно застосовувати в тих випадках, коли за технічними умовами до заготовки висувають особливі вимоги до механічних властивостей матеріалу. Підвищення точності поковок досягається калібруванням або виправленням. Калібрування може бути плоским та об'ємним, а також, залежно від розмірів поковки, гарячим або холодним. Воно виконується на кривошипних або гвинтових пресах і молотах.

Під час штампування матеріал розтікається по матриці або формі. У серійному виробництві найбільш раціонально застосовувати штампування у підкладних (відкритих) штампах—**облоїне штампування**. При великосерійному та масовому виробництві дрібних і середніх заготовок доцільно використовувати штампування в закритих штампах—**безоблоїне штампування**.

У сучасному заготівельному виробництві, а також у ракетно-космічній та авіаційній промисловості, набули широкого застосування **методи, основані на процесах пластичного деформування матеріалів**, які дозволяють формувати заготовки для тонкостінних оболонкових корпусів та елементів конструкції складної форми. Це методи холодного й гарячого штампування, які за характером деформування матеріалу поділяються таким чином: **розділювальні**—розкроювання, вирізання, вирубання; **формозмішувальні**—згинання, витягування, відборткування; **формоутворювальні** (складні)—рельєфне та об'ємне штампування, ви-

давлювання, прокатування та пресування.

При об'ємному (листовому) штампуванні матеріал деформується в об'ємних штампах. Штampi виробляються з високоміцних сталей типу 9ХС, ХВГ, тому що вони мають витримувати ударні й температурні навантаження. **Листове штампування** застосовується для одержання об'ємних тонкостінних заготовок будь-якої конфігурації з листового матеріалу. Метод холодного штампування забезпечує високу точність, відходи матеріалу не перевищують 15%. Цим методом можна одержувати деталі з алюмінієвих, магнієвих і титанових листових заготовок товщиною 0,5—6 мм. Методом гарячого штампування одержують заготовки з листового матеріалу товщиною 6—20 мм. **Методи прокатування** застосовується для одержання профілів із різною формою перерізу, холоднокатаних й гарячекатаних листів товщиною 0,2—4 мм розміром 600×3500 мм, або товщиною 40—120 мм розміром 600×3000 мм, а також нержавіючих труб і труб із кольорових металів, гнутих профілів із складною формою перерізу.

Застосування **пресування, видавлювання та рельєфного штампування** як основних способів одержання профілів, труб і панелей з алюмінієвих сплавів для нових галузей техніки пояснюється такими причинами: частою зміною об'єктів виробництва, що зумовлює дрібносерійність виготовлення профілів; частою зміною інструменту, яку легко здійснити при пресуванні; складністю конфігурації поперечного перерізу; порівняно низькою в'язкістю алюмінієвих сплавів при підвищених температурах, що зменшує зусилля пресування. Пресуванням можуть бути одержані заготовки досить точних розмірів практично будь-якої форми, їм властива висока якість поверхні. Пресовані профілі з алюмінієвих сплавів, особливо високоміцних, мають кращі характеристики міцності, ніж профілі, одержані іншими методами. Крім того, при пресуванні значно нижча вартість інструменту й простіша його заміна. Тому при використанні таких профілів не має суттєвого значення розмір замовлення, який є головним обмежувальним показником при сортовому прокаті й штампуванні. Пресування виробів досить складної форми дозволяє значно зменшити обсяг механічної обробки, а також підвищити експлуатаційні характеристики деталей, особливо з різкими переходами.

У загальному машинобудуванні для одержання заготовок широко застосовується **сортний прокат** із сталі та деяких кольорових сплавів. Найбільш уживаними формами прокату є такі: круглого перерізу діаметром 2—250 мм; шестигранного перерізу з відстанню між протилежними гранями 8—100 мм; квадратного перерізу із стороною 5—250 мм; смуги перерізом 12×(4—8) мм, 220×(4—60) мм, (100—300)×4 мм,

(160 — 1050)×(4 — 60) мм; труби сталеві безшовні діаметром 25 — 820 мм; труби спеціальні товстостінні; сталь тонколистова; дріт; **прокат спеціальних форм** [6]. Останній можна поділити на 4 види: профілі суцільного, постійного за довжиною перерізу; профілі із закінцівками; порожнисті профілі; оребрені панелі.

Серед профілів першого виду (суцільного перерізу, постійного за довжиною профілю) виділяють прямокутні, косокутні, радіусно-дугові та бульбопрофілі. За точністю геометрії (допуски на розміри, кути між полицями, поперечна кривизна, хвилястість) профілі постійного за довжиною суцільного перерізу поділяються на дві групи: нормальної та підвищеної точності. Профілі ступінчасто-змінного перерізу класифікуються за конфігурацією профільної частини. За цією ознакою вони поділяються на таврові, двотаврові, швелерні з відбортовкою, зетові й профілі довільного перерізу. Конфігурація закінцівкової частини може бути різною. Закінцівка являє собою моноліт, площа поперечного перерізу якого в 3 — 10 разів, а інколи й більше перевищує площу поперечного перерізу профільної частини. Порожнисті профілі поділяються на такі групи: з одним круглим отвором, з одним квадратним отвором, із двома чи більше отворами довільної форми. Класифікація оребрених панелей, як правило, проводиться за конфігурацією перерізу, за способом виробництва та за зміною перерізу по довжині панелі. Тому що конфігурація полотна панелей не вносить значних змін у технологію виготовлення й подальшої обробки, в основу класифікації панелей за конфігурацією перерізу покладена форма ребер: прямокутна, трикутна, трапецеїдална, Г-подібна, таврова (Т-подібна), хрестоподібна, довільна. За зміною перерізу по довжині панелі бувають постійного перерізу та періодично-змінного перерізу.

Також у машинобудуванні широко застосовуються **заготовки з металокераміки, пластмас і композиційних матеріалів**. Визначна специфічна особливість конструкцій з таких матеріалів полягає в тому, що з окремих компонентів безпосередньо у вигляді виробу створюється готовий матеріал. Працездатність таких матеріалів прямо залежить від стабільності їх властивостей, які, у свою чергу, характеризують ступінь досконалості технологічних методів виробництва. Металокерамічні заготовки одержують пресуванням із подальшим спіканням, використовуючи матеріали, які не змішуються в розплавленому стані, наприклад, вольфрам-мідь, залізо-свинець, мідь-графіт і т. ін. Заготовки з термопластичних і термореактивних пластиків виготовляються пресуванням, ливарними методами та методом безперервного видавлювання. Заготовки з композиційних полімерних матеріалів одержують пошаро-

вим викладенням або намотуванням просоченого наповнювача з подальшим формуванням під тиском та отвердінням, яке супроводжується полімеризацією або поліконденсацією сполучного. Методи формування — вакуумний, гідровакуумний, автоклавний і пресовий. Отвердіння сполучного може здійснюватись у печі конвекційного отвердіння, інфрачервоними нагрівачами, а також надвисокочастотним полем, тобто за принципом мікрохвильової печі.

1.3. ВИБІР МЕТОДІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ТОЧНОСТІ ТА ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ

Під **точністю виготовлення** в машинобудуванні розуміють ступінь відповідності дійсних розмірів деталі номінальним розмірам, які задані кресленням. Збільшення точності виготовлення деталей призводить до збільшення вартості обробки, зниження продуктивності верстата і т. ін. Для задання точності розмірів у машинобудуванні застосовують квалітети. Кожний **квалітет точності** характеризується певними допусками для вала й отвору та забезпечується різними способами обробки різанням, а саме:

15, 16, 17 — чорновим точінням і фрезеруванням, обдиранням заготовок, одержаних литтям, куванням і прокатуванням; ці квалітети застосовують у заготівельному виробництві для вільних розмірів деталей або заготовок із певними припусками на наступну обробку;

13, 14 — напівчистовим точінням, струганням і фрезеруванням; використовують у загальному машинобудуванні;

11, 12 — напівчистовим і чистовим точінням, свердлінням, фрезеруванням, струганням; використовують у загальному машинобудуванні;

8, 9, 10 — чистовим точінням і шліфуванням, зенкеруванням, розгортанням, струганням; застосовують у загальному машинобудуванні, автотракторобудуванні, вагобудуванні, дизелебудуванні, при виробництві парових машин і турбін;

6, 7 — точним шліфуванням, чистовим шліфуванням і точінням, алмазним точінням, чистовим протягуванням, розгортанням, тонким фрезеруванням; застосовують у точному машинобудуванні, верстатобудуванні, при виготовленні автомобільних, авіаційних двигунів, електромоторів, пневматичних та ін. машин;

5 — притиранням і доведенням, тонким поліруванням і шліфуванням; застосовують у приладобудуванні, точному верстатобудуванні, при виготовленні деталей шарикопідшипників тощо.

Ступінь точності вимірювання залежить від точності й чутливості вимірювального інструмента, прийнятого методу вимірювання та кваліфікації робітника. Установлено, що найбільша ціна поділки вимірювального інструмента повинна бути приблизно в три рази меншою від допуску. Так, при шліфуванні вала з допуском 0,03 мм найбільша ціна поділки інструмента повинна бути не більшою 0,01 мм, у цьому випадку зазвичай користуються мікрометром. Значною мірою впливають на точність вимірювань температура деталі й тиск вимірювального інструмента на неї. Усі виміри варто виконувати при однаковій температурі й однаковому тискові інструмента. Деякі інструменти мають спеціальні пристрої, що обмежують тиск на деталь (наприклад, тріскачка у мікрометрі).

Якість поверхні залежить від властивостей оброблюваного матеріалу, інструмента, режиму різання, застосовуваних мастильно-охолоджувальних рідин, способу й виду обробки. На поверхні деталей інструмент залишає нерівності у вигляді западин і гребенів, що після чорнової обробки помітні неозброєним оком, а після чистової обробки — при збільшенні під мікроскопом. Гребені та западини називають мікронерівностями поверхні деталі або шорсткістю, що характеризує якість поверхні.

Шорсткість поверхні являє собою сукупність нерівностей, що утворюють рельєф поверхні деталей у межах розглянутої ділянки, довжина якої вибирається залежно від характеру поверхні й дорівнює базовій довжині. Для кожного класу чистоти поверхні встановлені максимальні значення Ra й Rz при вибраних базових довжинах L . Для оцінки чистоти поверхні й вимірювання її шорсткості застосовують еталони чистоти поверхні та різні прилади. Задані форми, розміри та якість поверхонь деталей машин забезпечуються у багатьох випадках обробкою різанням. До основних факторів, що впливають на шорсткість поверхні належать такі: склад, структура й механічні властивості оброблюваного матеріалу; матеріал, геометрія, ступінь зносу різальної частини інструмента; режими різання; жорсткість системи «верстат — пристрій — інструмент — деталь» (ВППД); кількість, якість та спосіб підведення мастильно-охолоджувальної рідини.

Вплив швидкості різання на шорсткість залежить від оброблюваного матеріалу. Зі збільшенням крихкості матеріалу швидкість різання можна не обмежувати, при цьому шорсткість поверхні буде задовільною. Якщо оброблюється в'язкий матеріал, то швидкість різання необхідно зменшувати, тому що при великих швидкостях шорсткість буде збільшуватись завдяки оплавленню й налипанню стружки на лезо інструмента. У цьому разі застосування мастильно-охолоджувальних рідин дозволяє зменшити шорсткість при швидкостях різання 60—70 м/хв.

Глибина різання практично не впливає на шорсткість, а зі збільшенням подачі шорсткість збільшується. До речі, зменшувати подачу доцільно до певного граничного значення, нижче якого шорсткість майже не буде зменшуватись.

Обробку різцями розподіляють на обдирну, чорнову, напівчистову і чистову. Для одержання точних розмірів і мінімальної шорсткості поверхні застосовують тонку обробку.

Обдиранням зменшують просторові відхилення й похибки форми вихідної заготовки. Обдиранню піддають великі поковки та виливки.

Чорнову обробку використовують для заготовок, що піддавалися обдиранню, а також для великих штампованих заготовок і для великих виливків. У першому випадку досягаються 15–17 квалітети, а в другому 12–14 квалітети точності й шорсткість поверхні $R_z = 250 - 25$ мкм.

Напівчистову обробку застосовують, коли під час чорнової обробки не може бути видалений увесь припуск, або у випадках, коли до точності геометричних форм оброблюваної заготовки та просторових відхилень її елементів пред'являють підвищені вимоги. Напівчистова обробка забезпечує 12–14 квалітети точності та шорсткість поверхонь $R_z = 125 - 15$ мкм.

Чистову обробку застосовують, або як остаточну, або як проміжну під наступне оздоблення. Вона забезпечує 7–11 квалітети точності й шорсткість поверхні $R_a = 2,5 - 1,25$ мкм. Одноразовій чистовій обробці піддають заготовки, одержані методами, що забезпечують високу точність їх виготовлення (штампування підвищеної точності, лиття в кокіль, лиття за виплавними моделями і т. ін.), на режимах, які близькі до режимів чистової обробки.

Тонку обробку різцями застосовують як метод остаточного оздоблення зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь, що заміняє шліфування. Тонку обробку виконують при високих швидкостях різання, малих глибинах різання (0,05–0,5 мм) і малих подачах (0,05–0,15 мм/об) на спеціальних верстатах. Для циліндричних, конічних, сферичних, плоских торцевих поверхонь, а також фасонних поверхонь обертання обробку різцями виконують на верстатах токарного типу. Плоскі прямокутні поверхні обробляють різцями на стругальних і довбальних верстатах. Тонке точіння й розточування забезпечує 6–7 квалітети точності й шорсткість $R_a = 1,0 - 0,32$ мкм. Тонка обробка широкими різцями забезпечує 6–11 квалітети точності й шорсткість $R_a = 2,5 - 0,63$ мкм. Алмазні різці застосовують на операціях тонкого точіння заготовок із кольорових металів і сплавів. Така обробка забезпечує точність 5–6 квалітетів та шорсткість $R_a = 0,040 - 0,020$ мкм.

Алмазні різці мають високу стійкість, яка перевищує в десятки разів стійкість інструментів із твердих сплавів. Вони можуть діяти тривалий час без додаткового налагодження й регулювання, що дуже важливо при автоматизованому виробництві.

При обробці фрезами розрізняють чорнове, напівчистове, чистове, а при обробці торцевими фрезами й тонке фрезерування.

Чорнове фрезерування застосовують для обробки виливків і поковок, у яких припуск на попередню обробку перевищує 3 мм. Чорнове фрезерування плоских поверхонь забезпечує точність за прямолінійністю 0,15—0,3 мм на 1 м довжини й шорсткість $Rz = 250—125$ мкм.

Напівчистове фрезерування використовують для зменшення погрішностей геометричних форм і просторових відхилень. При напівчистовому фрезеруванні забезпечується шорсткість $Rz = 125—40$ мкм та відхилення від площинності 0,1—0,2 мм на 1 м довжини.

Чистове фрезерування застосовують як остаточну обробку після чорнового фрезерування або як метод проміжної обробки перед наступною оздоблювальною обробкою. Чистове фрезерування дозволяє одержати шорсткість $Rz = 40—10$ мкм й відхилення від площинності 0,04—0,08 мм на 1 м довжини.

Тонке фрезерування застосовують як метод остаточної обробки плоских поверхонь торцевими фрезами. Припуск під тонке фрезерування призначають у межах 0,2—0,5 мм. Тонке фрезерування забезпечує шорсткість $Ra = 2,5—0,4$ мкм й відхилення від площинності 0,02—0,04 мм на 1 м довжини.

Однократне фрезерування застосовують у тих випадках, коли погрішності вихідної заготовки зумовлюють незначний припуск на обробку (менше 2 мм). Ця обробка забезпечує шорсткість $Rz = 32—10$ мкм й відхилення від площинності 0,06—0,1 мм на 1 м довжини. Застосування швидкісних режимів при фрезеруванні зменшує висоту мікронерівностей у 1,5—2,5 раза.

Торцеві фрези використовують для обробки великих відкритих плоских поверхонь; набір циліндричних, прорізних і кутових фрез, закріплених на єдиній оправці, — для обробки фасонних поверхонь; фасонні фрези — для обробки складнопрофільованих поверхонь; пальцеві й дискові — для обробки пазів і гнізд.

Циліндричне фрезерування проти подачі характеризується великими силами. При торцевому фрезеруванні сила подачі незначна, але великою є бічна сила, що зсуває заготовку. При багатоінструментальних наладках, що здійснюються на поздовжньо-фрезерних і агрегатних верстатах, досягають високої продуктивності.

Спіральними свердлами утворюють отвори діаметром до 80 мм у суцільних заготовках. Свердління забезпечує 11—12 квалітети точності й шорсткість поверхні $Rz = 80 - 40$ мкм. Його застосовують як попередню обробку точних отворів. Обробка грубих отворів для болтів і заклепок обмежується одним свердлінням. При діаметрі отвору понад 30 мм спочатку свердлять отвір малого діаметра (одна третина заданого діаметра), а далі виконують його розсвердлювання. Точність розташування осі отвору забезпечують свердлінням за розміткою, за кондуктором і на координатно-свердильних верстатах. Свердління за кондуктором зменшує зміщення осі та збільшення діаметра (розбивання) отвору.

Зенкерування поділяють на чорнове (обробка литих або прошитих отворів) й чистове (обробка просвердлених чи попередньо розточених отворів). Зенкерують отвори діаметром до 120 мм. Зенкерування підвищує точність форми вихідного отвору, зменшує зміщення його осі, яке досягається направленням інструмента за допомогою кондукторної втулки. Зенкерування виконують на свердильних і агрегатно-розточувальних верстатах, а також на верстатах токарної групи. При зенкеруванні литих і прошитих отворів одержують 9—10 квалітети точності й шорсткість поверхні $Ra = 25 - 12,5$ мкм, а при зенкеруванні отворів після свердління (чорнового зенкерування) — 8—9 квалітети точності й шорсткість поверхні $Ra = 12,5 - 6,3$ мкм. Одноразове швидкісне зенкерування литих отворів у заготовках із сірого чавуну забезпечує 8—9 квалітети та шорсткість поверхні $Ra = 12,5 - 2,5$ мкм.

Розгортання отворів застосовують як метод остаточної обробки або як метод, що передує хонінгуванню, тонкому розточуванню та притиранню. Розгортання не зменшує зміщення осі отвору. Його використовують для одержання отворів точного діаметра. Залежно від вимог, що пред'являються до отвору, застосовують попереднє, чистове й тонке розгортання. Попереднє розгортання забезпечує 8 квалітет точності й шорсткість поверхні $Ra = 2,5 - 1,25$ мкм; чистове розгортання — 6—7 квалітети й шорсткість $Ra = 1,25 - 0,63$ мкм; тонке розгортання — 5—6 квалітети точності й шорсткість поверхні $Ra = 0,63 - 0,32$ мкм. Для остаточної обробки отворів за 5—6 квалітетами точності застосовують також розгортання плаваючими пластинами. Розгортають отвори діаметром до 120 мм. Розгортанню передують свердління, чистове зенкерування й чистове розточування. Застосовують комбіновані інструменти (свердло-зенкер, свердло-розгортку), які дозволяють скоротити час обробки шляхом поєднання в одній операції декількох переходів. У серійному й масовому виробництві свердління, зенкерування та розгортання отво-

рів виконують на багатошпиндельних верстатах, що забезпечують високу продуктивність.

Протягуванням обробляють наскрізні отвори, пази будь-якого перерізу, плоскі та криволінійні поверхні, а також зовнішні поверхні обертання. Протягування скорочує маршрут обробки, тому що протяжка замінює комплект інструментів (наприклад, зенкер, або розточувальний різець і розгортку, або чорнову та чистову фрези). Протягування отворів виконують після свердління, а пазів і зовнішніх поверхонь по необробленій поверхні. Протягуванням забезпечується 7—11 квалітети точності й шорсткість поверхні $Ra = 6,3—0,63$ мкм. Протягування здійснюють на горизонтальних чи вертикальних верстатах звичайного типу, напівавтоматах і автоматах.

Прошивання як метод остаточної обробки отворів будь-якої форми забезпечує 7 квалітет точності й шорсткість $Ra = 1,25—0,32$ мкм. Його виконують на пресах.

Шліфування застосовують як метод попередньої й остаточної обробки. Обдирне шліфування часто використовують для одержання базових поверхонь у дрібних і середніх виливків. Для обдирного шліфування застосовують сегментні кола зернистістю 80—125, рідше зернистістю 50—80. При цьому досягається шорсткість поверхні $Ra = 2,5—1,25$ мкм.

Попереднє шліфування плоских поверхонь після обробки лезовим інструментом здійснюють периферією чи торцем чашкового кола. У першому випадку застосовують кола зернистістю 40—50, у другому—із зернистістю 50—80. Для чистового шліфування використовують кола зернистістю 12—40, а для тонкого шліфування—із зернистістю 6—10. При плоскому шліфуванні периферією кола забезпечується така шорсткість поверхні: на режимах попередньої обробки $Ra = 6,3—1,25$ мкм, на режимах чистової обробки $Ra = 1,0—0,4$ мкм, і тонкої обробки— $Ra = 0,63—0,20$ мкм. Швидкісне плоске шліфування периферією кола зменшує висоту мікронерівностей у 1,5 раза.

При обробці зовнішніх поверхонь обертання застосовують попереднє, чистове й тонке шліфування. Попереднє шліфування забезпечує 7—10 квалітети точності й шорсткість поверхні $Ra = 6,3—0,63$ мкм, тонке шліфування—5—6 квалітети точності й шорсткість $Ra = 0,63—0,08$ мкм. Одноразове шліфування застосовують для заготовок, що не піддаються термічній обробці після точіння, для досягнення 7—8 квалітетів точності та шорсткості $Ra = 2,5—0,32$ мкм.

При обробці отворів застосовують попереднє, чистове чи одноразове шліфування. Попереднє шліфування забезпечує 8—10 квалітети точності й шорсткість $Ra = 6,3—0,63$ мкм. Чистове й однократне шліфуван-

ня забезпечує 6—7 квалітети точності та шорсткість $Ra = 1,25 - 0,32$ мкм.

Тонке шліфування при обробці отворів не застосовують. Якщо потрібна більш висока точність і мала шорсткість, то використовують інші методи обробки лезовими чи абразивними інструментами (тонке розточування, тонке розгортання, хонінгування, притирання). Шліфуванням обробляють різні поверхні, застосовуючи верстати відповідного типу (плоско- та круглошліфувальні, для внутрішнього шліфування, сферошліфувальні, різьбо- та зубошліфувальні).

Для тонкого шліфування застосовують алмазні круги, що складаються з корпусу й алмазоносного кільця. Алмазоносний шар містить алмаз і сполучне (металеве чи органічне). Алмазні круги виготовляють 25, 50 та 100-процентної концентрації, яка визначає вміст алмазу в міліграмах у 1 мм^3 алмазоносного кільця. За 100% концентрацію прийнято вміст у 1 мм^3 0,879 мг алмазу (0,00439 карата).

Вибір зернистості визначається вимогами, що пред'являються до шорсткості оброблюваної поверхні. При шліфуванні кругами з великим розміром зерна питома витрата круга зменшується, а продуктивність збільшується. Круги на металевих сполучних рекомендуються для попереднього шліфування заготовок із твердих сплавів та шліфування заготовок із скла й кераміки, а круги на органічних сполучних — для доводки деталей з високоміцних і крихких матеріалів. Шліфування виконують за безперервної подачі охолодної рідини з витратою 1—2 л/хв. Круги з кубічного нітриду бору забезпечують високу стійкість, продуктивність і малу шорсткість поверхні.

Хонінгування здійснюють спеціальною головкою з абразивними брусками, які рівномірно розсовуються в радіальному напрямку. Головка одночасно виконує обертальні й зворотно-поступальні рухи. Унаслідок цього на оброблюваній поверхні створюється дрібна сітка пересічних рисок від абразивних зерен, які добре утримують змазку. Хонінгуванням видаляють шар 0,01—0,20 мм залежно від діаметра отвору та попередньої обробки. Хонінгують отвори діаметром 20—400 мм та більші (циліндри компресорів та інших поршневих машин), довжиною більше одного діаметра. Для хонінгування отворів у тонких заготовках їх скріплюють пакетом по кілька штук. Хонінгуванням усувають конусність і овальність отвору без зміни положення його осі, тому що головка шарнірно з'єднана зі шпинделем верстата. Хонінгування поділяють на попереднє, чистове й тонке залежно від припуску, що видаляється, й зернистості абразивних брусків. Мاستильно-охолодною рідиною є суміш гасу з машинним мастилом. Хонінгування забезпечує точність 5 квалітету й шорсткість поверхні $Ra = 0,8 - 0,1$ мкм. Обробки, що передують хонін-

гуванню — це розгортання, тонке розточування та шліфування.

Суперфінішування здійснюють спеціальною головкою з дрібнозернистими абразивними брусками. Його застосовують для остаточної обробки зовнішніх та внутрішніх поверхонь обертання. У процесі роботи абразивні бруски притискаються до оброблюваної поверхні з невеликою силою. Унаслідок суперфінішування шорсткість поверхні Ra зменшується до $0,2—0,025$ мкм, але похибки попередньої обробки (тонкого точіння, шліфування, хонінгування) не усуваються. Процес супроводжується подачею мастильно-охолодної рідини, що складається з гасу й $10—15\%$ веретенного мастила. При цьому бруски торкаються лише мікронерівностей, що виступають у місцях розриву мастильного шару. Через $0,5—1,0$ хв у зв'язку з тим, що досягається певна висота нерівностей, опорна поверхня збільшується, й розрив мастильної плівки припиняється.

Притиранням досягається 5 квалітет точності, а шорсткість Ra нижча $0,1$ мкм. Інструмент — притир виготовляють з більш м'якого матеріалу, ніж матеріал оброблюваної заготовки. Його поверхня шаржується абразивними порошками чи пастами. Притиранню піддають зовнішні й внутрішні циліндричні, плоскі та інші поверхні. Обробку виконують на універсальних і спеціальних верстатах. Попереднім притиранням видаляють припуск, необхідний для усунення похибок геометричної форми поверхні, що шліфується. Остаточним притиранням зменшують шорсткість поверхні.

Полірування виконують м'яким полірувальним кругом (із повсті, фетру, бязі) із нанесеною на нього полірувальною пастою або струменем абразивної рідини. Унаслідок полірування шорсткість поверхні зменшується до $Ra = 0,032—0,012$ мкм. Обробка поверхонь із застосуванням притиральних та полірувальних паст основана на одночасній дії інструмента (притиру або полірувального м'якого кола) та поверхнево-активних речовин, що містяться в пастах. На відміну від притирання полірування не підвищує точності обробки.

Шліфування абразивними стрічками застосовують для металевих і неметалевих деталей. Цей метод використовують для оздоблення криволінійних поверхонь фасонних деталей типу турбінних лопаток і шийок колінчастих валів. Робоча поверхня стрічки значно перевищує робочу поверхню кола; при цьому відбувається розсіювання тепла, що виникає в процесі шліфування. Цей метод застосовують після чистової обробки. Він забезпечує підвищення точності та зменшення шорсткості поверхні. Питоме зняття матеріалу складає $1,2—1,6$ г/мм ширини стрічки за 1 хв. На продуктивність процесу впливає сила, з якою притискається стрічка, та її швидкість.

1.4. ПРИНЦИПИ РОЗРОБКИ МАРШРУТНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Вивчення початкових даних і вибір заготовки відбувається на підставі характеристик деталі, а саме: форми, розмірів, точності й шорсткості поверхонь, властивостей матеріалу, методу виготовлення та обсягу виробництва. Виходячи з цих даних, при наявності обладнання та можливості виготовлення оснастки й інструмента, визначають кількість обробок (обдирання, чорнова та чистова обробки, остаточна обробка, оздоблення і т. ін.) і намічають установлювальні та вимірювальні бази. Після цього проектують маршрутну технологію.

Маршрутною технологією називається перелік скороченого змісту всіх операцій технологічного процесу в порядку їхнього виконання із зазначенням обладнання, приладдя та інструмента. Головним завданням розробки маршрутної технології є визначення кількості й послідовності операцій. Кількість операцій залежить від форми заготовки, форми деталі та програми випуску. Вона визначається за принципами концентрації або диференціації операцій. Вибір того чи іншого шляху здійснюється на підставі техніко-економічних розрахунків.

Принцип концентрації передбачає невелику кількість складних операцій, які мають багато переходів. До переваг цього методу належать такі: більш висока точність, яка досягається зменшенням кількості переустановлень деталі, підвищення продуктивності, зменшення кількості операцій, робітників і верстатів, скорочення циклу обробки завдяки зменшенню допоміжного часу. Але цей метод вимагає висококваліфікованих робітників, складного обладнання та спричиняє збільшення часу налагодження операцій.

Принцип диференціації операцій полягає в тому, що процес виготовлення містить велику кількість простих операцій, навіть з одним переходом. До переваг цього методу належать: можливість застосування простого обладнання, механізації та автоматизації операцій, скорочення часу налагодження обладнання та низька кваліфікація робітників. Основними недоліками цього методу є збільшення кількості робітників, обладнання, виробничої площі, циклу обробки, допоміжного часу та зниження, як правило, точності обробки.

Маршрутний технологічний процес оформлюється на маршрутних картах, послідовність операцій будується за наступними критеріями:

- необхідно призначати технологічними базами конструкторські бази, які забезпечують високу точність та мінімальну кількість обробок;
- кожна попередня операція повинна утворювати поверхні, які б

були базами для наступних операцій;

- установлювальна база під час обробки певної поверхні повинна використовуватися тільки один раз;

- операції свердління, утворення місцевих ускладнень форми й термообробки мають бути розташовані наприкінці технологічного процесу;

- контрольні операції за необхідності виконуються одразу після основних.

1.5. ВИБІР УСТАТКУВАННЯ.

КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

Сучасне машинобудування приблизно на три чверті має середньо-серійний і дрібносерійний характер виробництва. Швидке оновлення номенклатури машин, зростання їхньої складності й точності приводить до необхідності швидкого переналагоджування виробництва на підприємствах. Організаційно-технічні засоби, ефективні при масовому однономенклатурному типі виробництва, стають гальмом для відновлення продукції. Отже, необхідно застосовувати швидкопереналагоджувальні високопродуктивні верстатні системи.

Верстатна система — це керована сукупність верстатів і допоміжного устаткування, призначена для обробки однієї чи кількох подібних або широкої номенклатури заготовок на основі одного, декількох чи різних маршрутних технологічних процесів. Автоматичні верстатні системи функціонують без участі людини, автоматизовані — за участю людини. Склад устаткування верстатної системи визначається конструктивно-технологічними характеристиками оброблюваних деталей, а також застосовуваними транспортно-складськими засобами, промисловими роботами, залежать від системи управління та низки інших факторів, що віддзеркалюють специфіку виробництва.

За призначенням обладнання виробничої системи умовно можна поділити на такі групи:

- устаткування для виготовлення заготовок: ливарне; куально-пресове; пресове; штампувальне; для формування виробів із пластмас і порошків; для здійснення допоміжних операцій карбування, рихтування, виправлення, згинання, пробивання отворів тощо;

- металорізальне устаткування;

- устаткування для термообробки, нанесення покриттів, складальних, зварювальних та інших операцій.

Металорізальні верстати — це машини для розмірної обробки заготовок шляхом видалення шару матеріалу. До верстатів відносять і

технологічне устаткування, в якому для обробки застосовуються електрофізичні й електрохімічні методи, електронне чи лазерне випромінювання, поверхнєве пластичне деформування і деякі інші види обробки. Верстати, на яких виконуються різні операції при автоматичній зміні різальних інструментів, називають багатоопераційними чи обробними центрами.

Класифікація металорізальних верстатів здійснюється за різними ознаками. Далі наведена досить докладна класифікація верстатів, яка максимально узагальнює дані про устаткування, наведені у відомих літературних джерелах, та дозволяє дещо спростити процес його вибору.

1. За ступенем автоматизації — автомати й напівавтомати.
2. За призначенням — одноцільові та багатоцільові.
3. За ступенем універсальності — спеціальні, спеціалізовані, універсальні.
4. За характером виконуваних робіт або за видами основних операцій обробки — токарні, фрезерні, свердлильні, координатно-розточувальні, свердлильно-фрезерні, фрезерно-розточувальні, свердлильно-фрезерно-розточувальні, шліфувальні, зуборізьбонарізувальні, багатоцільові (багатоопераційні), для електрофізичної обробки тощо.
5. За компоновкою — вертикальні, горизонтальні, нахильні.
6. За типом приводу — з гідро-, пневмо-, електроприводом.
7. За ступенем точності — нормальної, підвищеної, високої, особливої та особливо високої (майстер-верстати).
8. За кількістю використовованого інструменту — одноінструментальні, багатоінструментальні й багатоцільові.

Багатоінструментальними вважають верстати з кількістю інструментів до 12. Верстати, що забезпечують особливо високу концентрацію операцій, мають понад 12 інструментів й оснащені спеціальним магазином для розміщення інструментів, називають багатоцільовими. Особливістю багатоцільових верстатів є наявність столу чи ділильного пристрою з періодичним або безперервним рухом за керуючою програмою.

9. За принципом побудови технологічного процесу — однопозиційні для одночасної обробки однієї деталі, наприклад, із декількох боків та багатопозиційні для одночасної обробки декількох деталей.

При багатопозиційній обробці одним різальним інструментом час обробки однієї деталі залежить від вибраної схеми обробки — послідовної, паралельної, паралельно-послідовної, роторної або безперервної.

Схеми обробки на багатопозиційних багатошпиндельних верста-тах такі: паралельна; послідовна; паралельно-послідовна (завантажен-

ня декількох заготовок у позиції обробки та вивантаження після неї, вивантаження деталей і завантаження заготовок під час обробки інших заготовок, завантаження заготовок у двох сусідніх позиціях при подвійній індексації шпиндельного барабана); роторна. Час обробки однієї деталі на багатошпиндельних верстатах також залежить від вибраної схеми обробки.

10. За принципом управління рухом (типом системи управління) відповідно до вирішуваних технологічних задач — позиційні (свердлильно-розточувальні), контурні (токарні, фрезерні, шліфувальні) і комбіновані (багатоопераційні). Позиційне управління — ЧПУ, при якому робочі органи верстата переміщуються в задані положення, причому траєкторії переміщення не задаються. Контурне управління — ЧПУ, при якому робочі органи верстата переміщуються за заданою траєкторією, із заданою швидкістю для одержання певного контуру обробки. Комбіноване управління поєднує функції позиційного й контурного ЧПУ.

11. За наявністю зворотного зв'язку в системі управління — розімкнуті й замкнуті. Джерелом інформації зворотного зв'язку є технологічний процес. До цієї інформації належать дані про фактичне положення та швидкість руху робочого органа, розмір оброблюваної поверхні, температурні й силові деформації у системі ВПІД, температура в зоні різання, рівень вібрацій і т. ін.

Системи управління без зворотного зв'язку (розімкнуті) — циклічні, жорсткі та програмні, використовують тільки задану інформацію (програму управління). У таких системах відсутній контроль виконання програми й використовується тільки один потік інформації. Задана інформація переробляється у форму, зручну для керування приводом, що виконує певний перехід операції технологічного процесу.

Системи управління зі зворотним зв'язком (замкнуті) — рефлексні, адаптивні, ациклічні. Вони опрацьовують задану інформацію на підставі аналізу інформації зворотного зв'язку, яка містить дані про фактичну швидкість руху робочого органа та його положення, закінчення циклу обробки або його окремих частин тощо. Тобто, вони адаптують характеристики технологічного процесу, задані програмою управління, залежно від дії різних зовнішніх факторів, що вносять похибки в процес обробки.

12. За масою верстата, яка пов'язана з розмірами оброблюваних заготовок, верстати бувають легкими (до 1000 кг), середніми (1000—10000 кг) й важкими (понад 10000 кг). Останні також називають унікальними.

Позначення моделей верстатів робиться залежно від призначення, методів обробки тих чи інших поверхонь, виконання відповідних

технологічних операцій та застосовуваного різального інструменту. За цими ознаками верстати поділяють на дев'ять груп: 1 — токарні; 2 — свердлильні й розточувальні; 3 — шліфувальні, полірувальні, доводжувальні, заточувальні; 4 — комбіновані та для фізико-хімічної обробки; 5 — зубо- та різьбообробувальні; 6 — фрезерні; 7 — стругальні, довбальні, протягувальні; 8 — розрізувальні; 9 — різні. Кожна група містить дев'ять типів (від 0 до 8), які уточнюють призначення й конструктивні особливості верстата. У позначенні конкретних моделей верстатів перша цифра вказує на групу верстата, а друга на його тип. Наприклад, 10 — токарні спеціалізовані, 16 — токарні й токарні лобові; 21 — вертикально-свердлильні; 37 — плоскошліфувальні; 56 — різьбофрезерні; 95 — для випробувань інструментів тощо.

Наступні цифри в позначенні характеризують розмір робочого простору, тобто максимально припустимі розміри обробки. Верстати найбільш поширених технологічних груп утворюють розмірні ряди, в яких за кожним верстатом закріплений цілком визначений діапазон розмірів оброблюваних заготовок. Наприклад, у групі токарних верстатів можливості верстата характеризуються циліндричним робочим простором, а багатоопераційних верстатів — прямокутним робочим простором. За основним розміром робочого простору — максимальним діаметром для токарних верстатів або шириною столу для фрезерних і багатоопераційних верстатів, установлюють ряд стандартних значень, зазвичай у геометричній прогресії з деяким знаменником ϕ . Так для верстатів токарної групи прийнятий $\phi = 1,25$, а стандартний ряд найбільших діаметрів обробки — 250, 320, 400, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3200, 4000 мм.

Як було зазначено раніше, універсальні верстати й верстати з ЧПУ поділяють на класи точності й відповідно позначають індексами: Н — нормальної точності, П — підвищеної точності, В — високої точності, А — особливої точності, С — надвисокої (особливо високої) точності. Параметрами точності верстатів із ЧПУ є граничні значення накопичених відхилень уздовж координатних осей X – Y та Z – W , а також середні квадратичні відхилення в мкм.

Відповідно до класифікації систем програмного управління прийнята певна схема позначення верстатів. До основного позначення верстата додають один з індексів: Ц — верстати з цикловим управлінням, Ф1 — верстати з цифровою індексацією положення робочих органів, а також верстати з цифровою індексацією та ручним введенням даних, Ф2 — верстати з позиційними та прямокутними системами ЧПУ, Ф3 — верстати з контурними системами ЧПУ, Ф4 — верстати з універсаль-

ними комбінованими (змішаними) системами ЧПУ для позиційної та контурної обробки.

Крім того, введено індекси, що вказують на додаткові конструктивні особливості верстатів, пов'язані з автоматичною зміною інструмента: Р — зміна інструмента поворотом револьверної головки, М — зміна інструмента з магазину. Індекси Р та М записують перед індексами, що позначають систему ЧПУ. Наприклад, РФ2 — верстат із позиційною системою ЧПУ й револьверною інструментальною головкою, МФ3 — верстат із контурною системою ЧПУ й магазином інструментів.

Загальний приклад: позначення верстата 10И611ПМФ3 свідчить, що це токарний верстат (1), спеціалізований гвинторізний (0), чергової модифікації (И), підвищеної точності (П) має інструментальний магазин (М) і оснащений контурною системою ЧПУ (Ф3). Багато моделей верстатів мають іншу літерно-цифрову індексацію, прийняту заводом-виробником.

1.6. ПРИНЦИПИ БАЗУВАННЯ ЗАГОТОВОК

Після вирішення питань про кількість і порядок операцій та обчислення припусків, проміжних і граничних розмірів переходять до детальної розробки операцій. Кожну операцію ділять на переходи, проходи та прийоми. Далі уточнюють маршрут обробки, розподіляють припуски між переходами, уточнюють вибір обладнання, приладдя, інструмента, точності та шорсткості поверхонь, призначають бази, розраховують або призначають режими різання й нормують операції.

Надання заготовці необхідного положення в обраній системі координат здійснюється шляхом зіткнення поверхонь заготовки з поверхнями, на які її встановлюють чи з якими з'єднують. Фіксація досягнутого положення й постійність контакту забезпечується силами тяжіння і тертя. У загальному випадку базування здійснюється за допомогою декількох поверхонь заготовки, що виконують функцію баз.

Для базування заготовки зазвичай потрібно декілька баз, що утворюють систему координат. Сукупність трьох баз, які утворюють систему координат заготовки (виробу, деталі), називають **комплексом баз**.

Вибір баз і засобів базування для обробки й складання впливає на точність. Технологічний процес із погляду базування — це певний порядок зміни баз, при якому кожна попередня обробка повинна створювати базу для наступної операції. Він впливає не тільки на точність, але й на маршрут обробки.

Базою називають поверхню або сукупність поверхонь, ліній або

точок, що безпосередньо належать до заготовки чи деталі й використовуються для базування. **Базуванням** називають надання заготовці або деталі необхідного положення відносно вибраної системи координат. Бази бувають конструкторськими й технологічними. **Конструкторські бази** — це поверхні, лінії або точки на деталі, відносно яких визначається положення інших поверхонь. **Технологічні бази** використовуються під час виготовлення. Вони поділяються на установлювальні й вимірювальні та застосовуються для базування деталі під час виготовлення й визначення її розмірів. Існує принцип єдності баз. У випадку, коли він не виконується, необхідно зменшити допуски на розміри, що у свою чергу може призвести до зниження продуктивності й підвищення вартості виготовлення.

Для базування заготовки або деталі її необхідно позбавити шести ступенів свободи. Якщо кожному опору уявити у вигляді точки, то вони в трьох площинах координат будуть розподілені таким чином: у першій площині — три, але не на одній лінії, у другій — дві, у третій — одна. Це правило називається **правилом шести точок**.

У реальних умовах важко дотримуватись принципу єдності баз, наприклад, у разі невдалого вибору конструкторської бази. Тому технологічність конструкції, точність, надійність та якість виробу визначають розставленням розмірів.

Вибір обладнання, пристроїв, інструменту й режимів різання здійснюється для кожної операції. При виборі певного типу верстата необхідно враховувати вид обробки, точність, жорсткість, потужність, технологічні можливості та вартість верстата, його габаритні розміри і розміри заготовки.

1.7. КРИТЕРІЙ ВИБОРУ Й КЛАСИФІКАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИСТРОЇВ

Технологічним пристроєм називають допоміжне приладдя, яке застосовується для виконання технологічних операцій механічної обробки, складання та контролю. Загальна класифікація технологічних пристроїв передбачає такі групи [8]:

- верстатні пристрої, які застосовуються для встановлення й закріплення заготовок на станках;
- пристрої для закріплення інструмента на верстаті;
- складальні пристрої для з'єднання деталей при складанні;
- контрольні пристрої, які застосовуються для проміжного й остаточного контролю в процесі виготовлення й складання;
- пристрої для захвату, переміщення, перевертання оброблюва-

них заготовок, деталей та вузлів під час обробки та складання.

Основними **конструктивними елементами пристроїв** є такі:

- установлювальні, призначені для встановлення й визначення положення оброблюваної поверхні заготовки відносно різального інструмента;

- затискні, призначені для міцного й надійного закріплення заготовки в необхідному положенні;

- напрямні забезпечують необхідний напрямок руху різального інструмента відносно оброблюваної поверхні;

- орієнтувальні забезпечують правильність встановлення пристрою відносно верстата й інструмента;

- ділильні та поворотні, призначені для точної, дискретно-фіксованої зміни положення оброблюваної поверхні відносно різального інструмента;

- корпусні забезпечують загальне складання усіх частин пристрою;

- кріпильні, необхідні для з'єднання окремих частин пристрою та його фіксації на верстаті;

- силові приводи забезпечують переміщення рухомих частин пристрою.

Загальний обсяг верстатних пристроїв у машинобудуванні становить 80 — 90%. **Вибір верстатного пристрою** має забезпечити:

- збільшення продуктивності за рахунок: усунення операцій розмічування під обробку; скорочення часу на встановлення та закріплення заготовок; часткового чи повного перекриття допоміжного часу машинним часом та зменшення останнього шляхом багатопозиційної обробки, а також суміщення технологічних переходів та інтенсифікацію процесу різання;

- підвищення точності обробки завдяки усуненню похибок встановлення;

- розширення технологічних можливостей устаткування;

- поліпшення умов праці та підвищення умов техніки безпеки;

- зменшення собівартості обробки.

Група верстатних пристроїв складається з дев'ятих підгруп, кожна підгрупа містить декілька видів, а деякі види — ряд підвидів пристроїв. Зазначені групи такі: патрони токарні; наладки до токарних пристроїв і верстатів (запасні частини до токарних патронів); лецата; головки багатошпиндельні; столи та стійки; плити; кондуктори; універсально-складана переналагоджувальна оснастка; інші пристрої.

За ступенем універсальності всі верстатні пристрої можна кла-

сифікувати як універсальні, спеціалізовані, спеціальні.

Універсальні пристрої застосовуються під час обробки різноманітних заготовок, наприклад, три- та чотирикулачкові патрони, ділильні головки, поворотні столи, машинні й ручні лещата тощо. Їх умовно можна розділити на налагоджувальні — для закріплення заготовок широкої номенклатури й подібної форми та налагоджувальні зі змінними елементами (наладками), які застосовуються для закріплення заготовок різної форми. Такі пристрої дозволяють після незначного переналадження виконувати обробку декількох схожих за формою заготовок певних розмірів в умовах дрібносерійного та одиничного виробництва. Використовуються універсальні пристрої з метою розширення технологічних можливостей верстатів.

Спеціалізовані пристрої призначені для обробки певних заготовок. У конструкції таких пристроїв передбачаються додаткові змінні елементи. Наприклад, змінні губки для лещат, фасонні кулачки для патронів та інші наладки. Такі пристрої також можна поділити на налагоджувальні — для закріплення близьких за конструкцією заготовок та налагоджувальні, технологічні можливості яких дещо ширші. Універсально-складені пристрої також є спеціалізованими. Вони застосовуються для виконання різноманітних операцій і компонуються із заздалегідь виготовлених стандартних компонентів для виконання певної операції. Після використання такі пристрої можна перекомпонувати на іншу конфігурацію.

Спеціальні пристрої призначені для виконання однієї або декількох операцій для конкретної конструкції заготовки, тобто вони є одноцільовими. Спеціальні пристрої, так само як і спеціалізовані, застосовують у масовому та великосерійному виробництві. Вони забезпечують високу точність і продуктивність обробки. Зазвичай ці пристрої оснащуються швидкодійними, безшумними приводами та елементами автоматики.

Розділ 2

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ З ТЕОРІЇ РІЗАННЯ

2.1. Основні поняття, терміни й визначення

При обробці металів різанням деталь утворюється внаслідок зрізання із заготовки шару припуску, який видаляється у вигляді стружки. Готова деталь обмежується щойно утвореними обробленими поверхнями. На оброблюваній заготовці в процесі різання розрізняють оброблювану й оброблену поверхні. Крім того, безпосередньо в процесі різання ріжучою кромкою інструмента утворюється й тимчасово існує поверхня різання (рис. 2.1).

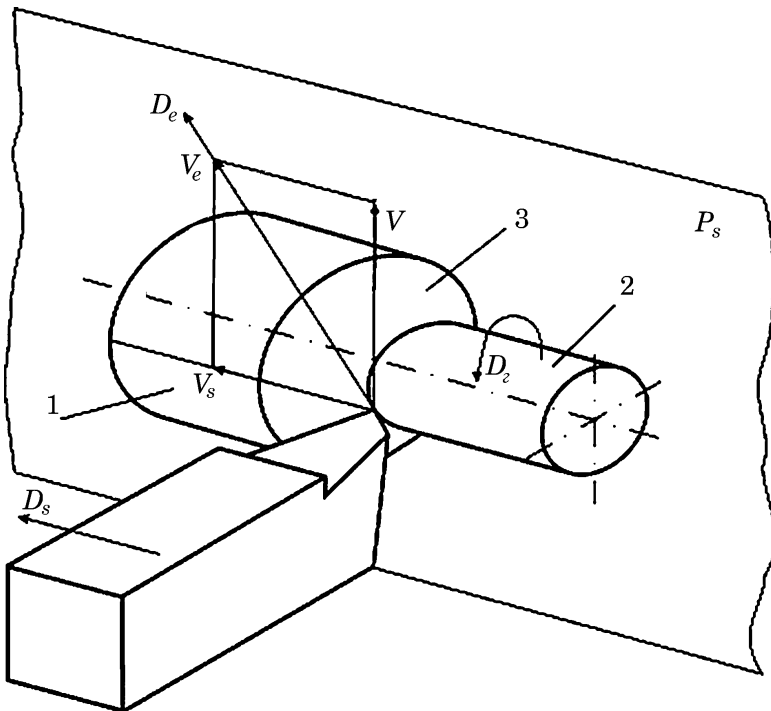


Рис. 2.1. Поверхні й рухи при різанні:

1 — оброблювана поверхня; 2 — оброблена поверхня; 3 — поверхня різання;
 P_s — робоча площина; V — вектор швидкості різання; V_s — вектор швидкості руху подачі; V_e — вектор швидкості результуючого руху; D_z — головний рух;
 D_s — рух подачі; D_e — результуючий рух

Для здійснення процесу різання необхідно і достатньо мати одне взаємне переміщення деталі й інструмента. Однак для обробки поверхні одного взаємного переміщення, як правило, недостатньо. У цих випадках зазвичай необхідно мати два або більше взаємозалежні рухи оброблюваної заготовки й інструмента. Сукупність декількох рухів інструмента й оброблюваної деталі й забезпечує одержання поверхні необхідної форми. При цьому рух із найбільшою швидкістю називається **головним рухом** D_z , а решта рухів називаються **рухами подачі** D_s . Сумарний рух різального інструмента відносно заготовки, який складається з головного руху й руху подачі, називається **результуючим рухом** різання D_e .

Геометрична сума швидкості головного руху різання й швидкості руху подачі визначає величину швидкості результуючого руху різання V_e . Площина, в якій розташовані вектори швидкостей головного руху різання й руху подачі називається робочою площиною P_s . У цій площині вимірюється кут швидкості різання й кут подачі. У випадку токарної обробки цей кут дорівнює 90° .

Інтенсивність процесу різання визначається напруженістю режиму різання. Режим різання характеризують три параметри: глибина різання t , мм; подача S , мм/об; швидкість різання V , мм/хв.

Глибиною різання називається товщина шару оброблюваного матеріалу, що зрізується за один прохід інструмента.

Подачею називається величина переміщення інструмента або оброблюваного виробу в одиницю часу або величина цього переміщення, віднесена до величини головного руху.

Швидкістю різання називається швидкість переміщення поверхні різання відносно ріжучої кромки інструмента. Швидкість різання можна подати як шлях, пройдений різальним інструментом в одиницю часу в напрямку головного руху по поверхні різання.

Величини подачі й глибини різання визначають площу f поперечного перерізу шару, який зрізується (зрізу):

$$f = S \cdot t, \text{ мм}^2.$$

Процес пластичної деформації зрізуваного шару і напруженість процесу різання найбільш повно оцінюється не величиною площі поперечного перерізу зрізу, а показниками ширини й товщини поперечного перерізу цього шару (рис. 2.2).

Товщиною зрізу a називається відстань між двома послідовними положеннями поверхні різання.

Шириною зрізу b називається відстань між оброблюваною й обробленою поверхнями, яка вимірюється на поверхні різання.

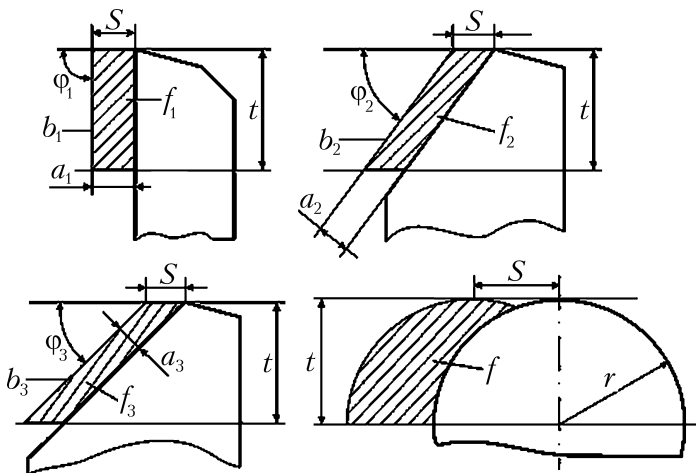


Рис. 2.2. Форма й розміри площі поперечного перерізу зрізу:

S — подача; t — глибина різання; a_1, a_2, a_3 — товщина зрізу;
 b_1, b_2, b_3 — ширина зрізу; f, f_1, f_2, f_3 — площа зрізу; ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 — кут між ріжучою
 кромкою й напрямком подачі; r — радіус кривизни ріжучої кромки

Форма поперечного перерізу зрізу залежить від форми ріжучої кромки інструмента й від її розташування відносно напрямку руху подачі. При різанні інструментом із прямолінійною ріжучою кромкою товщина зрізу постійна по всій його ширині, а при різанні інструментом із криволінійною ріжучою кромкою товщина зрізу змінюється в різних положеннях інструмента по ширині зрізу. При постійних значеннях подачі та глибини різання ширина й товщина зрізу змінюються залежно від положення ріжучої кромки й кута між ріжучою кромкою й напрямком подачі.

Якщо площі зрізу однакові (див. рис. 2.2), тобто:

$$f_1 = f_2 = f_3 = a_1 b_1 = a_2 b_2 = a_3 b_3,$$

тоді

$$a_1 > a_2 > a_3, b_1 < b_2 < b_3,$$

$$a = S \cdot \sin \phi, b = \frac{t}{\sin \phi},$$

а при $\phi = 90^\circ$

$$\sin \phi = 1, a = S, b = t.$$

Унаслідок того, що різальний інструмент має допоміжний кут ϕ_1 , який не дорівнює нулю, фактична площа зрізу менша від номінальної

на величину площі перерізу гребінців, що залишаються на обробленій поверхні. Ця величина є нікчемно малою в порівнянні з номінальною площею зрізу, тому для виконання будь-яких розрахунків нею можна знехтувати.

Продуктивність обробки різанням Q ($\text{м}^3/\text{хв}$) може характеризуватися обсягом металу, що зрізується в одиницю часу. Цей обсяг може бути визначений як добуток площі поперечного перерізу зрізу й довжини шляху, пройденого різальним інструментом за певний час, або вказаної площі й швидкості різання:

$$Q = 1000StV,$$

де S — подача, $\text{мм}/\text{об}$; t — глибина різання, мм ; V — швидкість різання, $\text{м}/\text{хв}$. Крім того, продуктивність механічної обробки може оцінюватися також величиною площі поверхні, обробленої в одиницю часу, або за іншими показниками.

2.2. Основні випадки різання

Процеси пластичної деформації зрізу й утворення стружки, крім вищезазначених параметрів, додатково характеризуються ступенем ускладненості умов, за яких відбувається утворення стружки. За цією ознакою розрізняють два випадки різання — вільне й невільне (ускладнене).

Вільне різання здійснюється у випадку, коли в процесі бере участь одна прямолінійна ріжуча кромка. Деформований стан зрізуваного шару при цьому є плоским. Приклад вільного різання показаний на рис. 2.3, а. У цьому випадку деформація відбувається в паралельних між собою площинах, і всі елементарні об'єми зрізуваного шару можуть вільно рухатися в паралельних напрямках.

Вільне різання може відбуватися також при струганні прямих гребінців на плоскій поверхні призматичної заготовки. Довжина прямолінійної ріжучої кромки інструмента повинна бути більшою від ширини гребінців на ширину перекриття ріжучого леза. Вільне різання зазвичай здійснюється при виконанні будь-яких експериментів у різних дослідженнях. Це робиться з метою уникнення впливу ускладненого деформування зрізу на досліджуване явище. Наприклад, одержати корінь стружки для вивчення процесів пластичної деформації зрізу або утворення наросту можна тільки при вільному різанні, коли всі явища в зоні різання відбуваються в системі паралельних площин і є однаковими для кожної з них.

Невільне різання (ускладнене) характеризується тим, що окремі об'єми зрізуваного шару на різних ділянках ріжучої кромки рухаються

в різних напрямках. Це створює умови складного деформування, а також ускладнює процес утворення стружки (рис. 2.3, б).

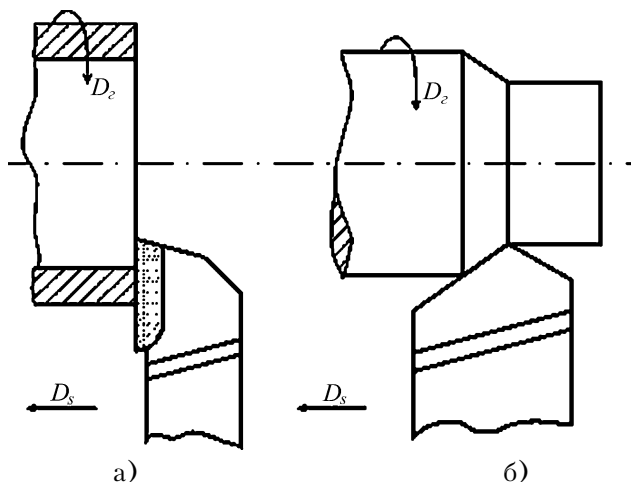


Рис. 2.3. Два випадки різання:
а — вільне різання; б — невільне різання

При невільному різанні окремі елементарні об'єми зрізу переміщуються в різних напрямках. Тому в різних точках зони різання ті самі явища відбуваються по-різному та з різним ступенем інтенсивності. Картина стану матеріалу в зоні різання в одній січній площині не є типовою для решти січневих площин і не повторює картини стану матеріалу в цих січневих площинах.

За розташуванням ріжучої кромки інструмента відносно напрямку головного руху (вектора швидкості різання) процес різання може бути прямокутним або косокутним. При розташуванні ріжучої кромки під прямим кутом до напрямку головного руху різання він є **прямокутним**. Якщо ж ріжуча кромка розташована до напрямку різання не під прямим кутом, процес різання є **косокутним**. При прямокутному різанні стружка завивається в плоску логарифмічну спіраль, а при косокутному різанні — у гвинтову, напрямок і крок якої залежать від розташування ріжучої кромки.

Різнання може здійснюватися різальними інструментами з одним ріжучим лезом або з декількома. Відповідно до цього різання буває **однолезовим** або **багатолезовим**. Воно може бути **безперервним**, таким як при точінні, або **переривчастим**, таким як при фрезеруванні, а також відбуватися з постійним або змінним перерізом зрізу.

2.3. ЗАГАЛЬНА СХЕМА ПРИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ

Згідно з ГОСТ 25761—83 всі види механічної обробки металів і матеріалів різанням поділяються на лезову й абразивну обробку. До лезової обробки відносять усі види обробки різанням, які здійснюються лезовим різальним інструментом. Абразивна обробка виконується абразивними інструментами.

Оптимальним режимом різання називається така сукупність всіх його елементів — глибини різання, подачі й швидкості різання, яка забезпечує найбільшу продуктивність при найменшій вартості обробки. Вибір, призначення або розрахунок елементів режиму різання здійснюється поетапно в порядку впливу кожного елемента на стійкість різального інструмента. Спочатку призначається глибина різання, потім подача й після цього розраховується швидкість різання з урахуванням вибраних значень глибини й подачі.

Швидкість різання визначається за емпіричними формулами. Усі формули є принципово однаковими. Вони складені на підставі залежності стійкості різального інструмента від швидкості різання. Однак, для кожного виду обробки різанням ці формули мають конкретний зовнішній вигляд і враховують різну кількість факторів, найбільш властивих для певного виду обробки. Конкретні умови різання враховуються одним загальним коефіцієнтом K_V , який є добутком ряду поправкових коефіцієнтів. Найважливішими з них є коефіцієнти, що враховують властивості оброблюваного й інструментального матеріалу та стан оброблюваної поверхні. Величина цих та інших коефіцієнтів вибирається або розраховується за даними довідкової літератури, більшість із них наведена нижче.

Після розрахунку режиму різання визначається основний технологічний час. **Основним технологічним часом** називається час, що затрачається безпосередньо на обробку якоїсь поверхні, тобто час, протягом якого різальний інструмент механічно переміщається із швидкістю подачі по оброблюваній поверхні.

При призначенні елементів режиму різання необхідно враховувати характер обробки, тип і розміри інструмента [1], матеріал його різальної частини [8, 9], див. табл. 1, 2, матеріал та стан заготовки [1, 2], тип та стан устаткування. Елементи режиму різання встановлюють у послідовності, що зазначена нижче.

Глибина різання t . Для чорнової (попередньої) обробки призначають, якщо це можливо, максимальну глибину різання, яка дорівнює значенню загального припуску на обробку або більшій його частині.

Для чистової (остаточної) обробки її призначають залежно від вимог до точності розмірів та кінцевої шорсткості оброблюваної поверхні.

Подача S. Для чорнової обробки вибирають максимально можливу подачу на підставі характеристик жорсткості та міцності технологічної системи «верстат – пристрій – інструмент – деталь» (ВПД), потужності приводу верстата, міцності твердосплавної пластини різця та інших обмежуючих факторів. Для чистової обробки її вибирають залежно від необхідного ступеня кінцевої точності та шорсткості оброблюваної поверхні.

Таблиця 1

**Вибір марок швидкорізальних сталей
для різних різальних інструментів**

Марка сталі	Виготовлюваний інструмент
P18	усіх видів, у тому числі для обробки звичайних конструкційних матеріалів в умовах динамічного навантаження
P9	простої форми з малим об'ємом шліфувальних поверхонь (різці, свердла, зенкери тощо) для обробки звичайних конструкційних матеріалів
P6M5	такий самий, як із сталі P18
P14Ф4 P9Ф5	для знімання стружки малого перерізу, для обробки матеріалів, що мають абразивні властивості в умовах нормального нагрівання різальної кромки
P18K5Ф2 P9M4K8 P6M5K5	для обробки високоміцних, корозійностійких і теплостійких сталей, а також сплавів в умовах підвищеного нагрівання різальної кромки
P10K5Ф5	простої форми (різці, свердла, зенкери тощо) для обробки високоміцних, корозійностійких та жароміцних сталей, а також сплавів і матеріалів, що мають абразивні властивості в умовах підвищеного нагрівання різальної кромки
P9K5	для обробки сталей та сплавів підвищеної твердості та в'язкості, підходить для роботи з ударом
P9K10	з малим об'ємом шліфувальних поверхонь, для обробки корозійностійких, жароміцних сталей, а також матеріалів із підвищеною твердістю та в'язкістю

Вибір марок твердих сплавів для різних видів обробки різанням

Види та характер обробки	Марка твердого сплаву при обробці						
	вуглецевистих легированих сталей	важко-оброблюваних матеріалів	корозійно-стійкої сталі аустенітного класу	титану та його сплавів	чавуну		кольорових металів та їхніх сплавів
					НВ 240	НВ 400–700	
1	2	3	4	5	6	7	8
Чорнове точення по кірці та окалині при нерівномірному перерізі зрізу та переривчастому різанні з ударами	T5K10 T5K12 BK8 BK8B	T5K10 T17K12 BK8 BK8B	T5K12 BK8 BK8B	BK8 BK8B	BK4 BK8 BK8B	BK8 BK8B	BK4 BK6 BK8
Чорнове точення по кірці при нерівномірному перерізі зрізу та безперервному різанні	T14K8 T5K10	BK4 BK8 BK8B	BK4 BK8	BK4	BK4 BK6 BK8	BK4 BK6M	BK4 BK6
Чорнове точення по кірці при відносно рівномірному перерізі зрізу та безперервному різанні	T15K6 T14K8	T5K10 BK4 BK8	BK4 BK6M	BK8	BK4 BK8	BK3 BK6M	BK3 BK3M BK4
Напівчистове та чистове точення при переривчастому різанні	T15K6 T14K8 T5K10	BK4 BK8 BK8B	BK4 BK8	BK4	BK4 BK6 BK8	BK6M	BK3 BK3M BK4
Точне точення при переривчастому різанні	T30K3 T15K6	—	BK6M	BK4	BK3 BK3M BK4	BK3 BK6M	BK3 BK3M BK4
Точне точення при безперервному різанні	T30K6	—	BK3M BK6M	BK4 BK6M BK3M	BK3 BK3M	BK3 BK6M	BK3 BK3M

1	2	3	4	5	6	7	8
Чорнове фрезерування	T15K6	T5K10	T5K12	BK4 BK8	BK4 BK6 BK8	—	BK4 BK6 BK8
	T14K8	BK4	T5K10				
	T5K10	BK8	T14K8				
Напівчистове й чистове фрезерування	T30K4	T15K6	T15K6	BK4 BK8	BK6 BK4	BK6M	BK3 BK3M BK4
	T15K6	T14K8	T14K8				
	T14K8	K5K10					
Свердління неглибоких (нормальних) отворів	T5K10			BK8 BK8B	BK4 BK6 BK8	BK8 BK8B	BK4 BK6 BK8
	T5K12B	T5K12B	T5K12B				
	BK8	TT7K12	BK8				
Свердління глибоких отворів	BK8B	BK8	BK8B				
	T15K6	BK8B		—	BK4 BK8 BK8		
	T14K8	BK8B					
Розсвердлювання неглибоких заздалегідь просвердлених отворів	T5K10	T5K12B	T5K12B				
	T14K8	T5K12B		BK8	BK4 BK8	BK3 BK3M BK4	BK6M BK3M BK4 BK3
	T15K6	BK4	BK8				
Розсвердлювання неглибоких отворів у литих, кованих та штампованих деталях	T5K10	T5K12	T5K12	—	BK4 BK6 BK8	—	BK4 BK6 BK8
	T5K12	TT7K12	BK8B				
	BK8	BK8	BK8				
Розсвердлювання глибоких заздалегідь просвердлених отворів	BK8B	BK8B					
	T15K6	BK4	BK4	—	BK3 BK3M BK4	BK6M BK4	BK3 BK3M BK4
	T14K8	BK8	BK8				

Закінчення табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
Розсвердлювання глибоких отворів у литих, кованих і штампованих деталях	T5K10	T5K12	T5K12	—	BK8M BK8 BK4	—	BK4 BK8 BK8M
	T5K12 BK8 BK8B	T7K12 BK8 BK8B	BK8 BK4				
Чорнове зенкерування	T15K6	T5K10	BK6M BK4	BK4 BK8	BK4 BK6 BK8	BK6M	BK4 BK6 BK8
	T14K8 T5K10 T5K12 BK8	BK4 BK8					
Напівчистове й чистове зенкерування	T30K4	T15K6	BK6M	BK4 BK8	BK3 BK3M BK4	BK4	BK3 BK3M BK4
	T15K6 T14K8	T5K10 BK6M					
Попереднє та остаточне розгортання	T30K4	T30K4	BK6M BK4	BK4 BK6M BK3	BK3 BK3M BK6M	BK6M BK3M	
	T15K6	T15K6 BK6M BK3M					
Прорізання канавок та відрізання	T15K6	BK4	BK6M BK4	BK4 BK8	BK4 BK6 BK8	BK6M BK3	BK3 BK3M BK4
	T14K8 T5K10	BK8 BK8B					
Попереднє нарізання різьби	T15K6	T15K6	BK6M BK4	BK4 BK6M BK3M	BK3 BK3M BK4	BK6M BK3M BK3	BK4 BK6M BK6
	T14K8	BK4					
Остаточне нарізання різьби	T30K4	T30K4	BK6M BK3M	BK4 BK6M BK3M	BK3 BK3M BK4	BK6M BK3M BK3	BK3 BK3M
	T15K6	T15K6 T14K8					

Швидкість різання V . Швидкість різання обчислюють за емпіричними формулами, що встановлені для кожного виду обробки. Вони мають такий загальний вигляд:

$$V_{Tab} = \frac{C_V}{T^m t^X S^Y},$$

де V_{Tab} — швидкість різання, що обчислена за табличними даними; T — період стійкості інструменту; m — показник відносної стійкості, що залежить від матеріалу оброблюваної деталі й інструменту, товщини зрізу, виду й умов обробки; t — глибина різання; S — подача; C_V , X , Y — коефіцієнти, що враховують властивості оброблюваного матеріалу, матеріалу різального інструменту та інші фактори.

Значення коефіцієнта C_V та показників степеня, що входять до складу цих формул, також як і періоду стійкості різального інструмента, який застосовується для певного виду обробки, наведені в таблицях для кожного її виду. Швидкість різання, що обчислена за табличними даними, враховує конкретні значення глибини різання, подачі та стійкості й дійсна при певних табличних значеннях ряду інших факторів. Тому для отримання реального значення швидкості різання V з урахуванням конкретних значень вказаних параметрів необхідно ввести поправковий коефіцієнт K_V . Дістанемо:

$$V = K_V V_{Tab},$$

де K_V є добутком ряду коефіцієнтів. Три найважливіші з них є спільними для різних видів обробки. Таким чином,

$$K_V = K_{mV} K_{nV} K_{iV},$$

де K_{mV} — коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу та вплив його фізико-механічних властивостей на швидкість різання (див. табл. 3–6); K_{nV} — коефіцієнт, що характеризує стан поверхні заготовки (див. табл. 7); K_{iV} — коефіцієнт, що враховує властивості матеріалу інструменту (див. табл. 8).

Стійкість інструменту T . Стійкість — це період роботи інструменту до затуплення. Тривалість цього періоду наведена для різних видів обробки та відповідає умовам одноінструментальної обробки. При багатоінструментальній обробці період стійкості слід збільшувати, тому що він залежить, насамперед, від кількості одночасно працюючих інструментів, відношення часу різання до часу робочого ходу, матеріалу інструменту, а також виду устаткування. При багатOVERстатному обслуговуванні й зростанні кількості верстатів, що обслуговуються, період стійкості також необхідно збільшувати. Його збільшення здійснюється з метою

уникнення зростання часу простою верстата через часті переналагодження, які викликані заміною інструмента, що затупився.

Таблиця 3

Співвідношення для обчислення коефіцієнта K_{m_V}

Оброблюваний матеріал	Розрахункова формула
Сталь	$K_{m_V} = K_{\Gamma} \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_V}$
Сірий чавун	$K_{m_V} = \left(\frac{190}{HB} \right)^{n_V}$
Ковкий чавун	$K_{m_V} = \left(\frac{150}{HB} \right)^{n_V}$

Примітки:

1) σ_B і HB — фактичні параметри, що характеризують оброблюваний матеріал, для якого розраховується швидкість різання;

2) коефіцієнт K_{Γ} , що характеризує групу сталі за оброблюваністю та показник степеня n_V див. у табл. 4.

У загальному випадку розрахунок значення періоду стійкості досить складний. Тому орієнтовно можна вважати, що період стійкості при багатоінструментальній обробці буде таким:

$$T_{\delta i} = T K_{T_i},$$

а при багатOVERстатному обслуговуванні він становить:

$$T_{\delta \delta} = T K_{T_{\delta}},$$

де T — лімітована стійкість інструмента; K_{T_i} — коефіцієнт зміни періоду стійкості при багатоінструментальній обробці (див. табл. 9); $K_{T_{\delta}}$ — коефіцієнт зміни періоду стійкості при багатOVERстатному обслуговуванні (див. табл. 10).

Сила різання P . Під силою різання зазвичай мають на увазі її головну складову P_z , що при різанні визначає потужність N_e та крутний момент M на шпинделі верстата. Сили різання розраховуються за емпіричними формулами. Значення коефіцієнтів і показників степеня для цих формул наведені у відповідних таблицях залежно від видів обробки.

Коефіцієнт K_r та показник степеня n_v для обчислення коефіцієнта K_{mv}

Оброблюваний матеріал	Коефіцієнт K_r для матеріалу інструмента		Показники степеня n_v при обробці					
			різцями			свердлами, зенкерами, розгортками		фрезами
	зі швид- корізал- ної сталі	з твер- дого сплаву	зі швид- корізал- ної сталі	з твер- дого сплаву	зі швид- корізал- ної сталі	з твер- дого сплаву	зі швид- корізал- ної сталі	з твер- дого сплаву
Сталь вуглецева з умістом вуглецю понад 0,6% та межею міцності $\sigma_B < 450$ МПа	1,0	1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	
Сталь вуглецева з умістом вуглецю понад 0,6% та межею міцності $\sigma_B = 450 - 550$ МПа	1,0	1,0	1,75	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	
Сталь вуглецева з умістом вуглецю понад 0,6% та межею міцності $\sigma_B > 550$ МПа			1,0	1,0		1,0		1,0
Сталь підвищеної та високої оброблюваності різанням	1,2	1,1	1,75	1,05			-	
Сталь хромиста	0,85	0,95	1,75	0,9			1,45	
Сталь вуглецева з умістом вуглецю понад 0,6% хромонікелева, хромомолібденованадієва	0,8	0,9	1,5	0,9			1,35	
Сталь хромомарганцевиста	0,7	0,8	1,25	0,9			1,0	
Чавун сірий	-	-	1,7	1,3	1,3	1,3	0,95	1,25
Чавун ковкий	-	-	1,7	1,3	1,3	1,3	0,85	1,25

Таблиця 5

Коефіцієнт K_{mV} для жароміцних і корозійностійких сталей

Марка сталі або сплаву	Межа міцності σ_B , МПа	Усереднене значення коефіцієнта K_{mV}
12X18H9T	550	1,0
13X11H2B2MФ	1100–1460	0,8–0,3
14X17H2	800–1300	1,0–0,75
13X14H3B2ФР	700–1200	0,5–0,4
37X12H8Г8МФБ	—	0,95–0,72
45X14H14B2M	700	1,06
10X11H20T3P	720–800	0,85
12X21H5T	820–1000	0,65
20X23H18	600–620	0,80
31X19H9MBET	600–620	0,40
15X18H12C4TЮ	730	0,50
XH78Г	780	0,75
XH75MBTЮ	—	0,53
XH60BT	750	0,48
XH77TЮ	850–1000	0,40
XH77TЮP	850–1000	0,26
XH35BT	950	0,50
XH70BMTЮ	1000–1250	0,25
XH55BMTЮ	1000–1250	0,25
XH65BMTЮ	900–1000	0,20
XH35BTЮ	900–950	0,22
BT3-1, BT3	950–1200	0,40
BT5, BT4	750–950	0,70
BT6, BT8	900–1200	0,35
BT14	900–1400	0,53–0,43
12X13	600–1100	1,5–1,2
30X13, 40X13	850–1100	1,3–0,9

Таблиця 6

Коефіцієнт K_{mV} для мідних і алюмінієвих сплавів

Оброблюваний матеріал	K_{mV}
1	2
Мідні сплави	
гетерогенні з твердістю $HB > 140$	0,7
гетерогенні з твердістю HB 100–140	1,0
свинцевисті при основній гетерогенній структурі	1,7
гомогенні	2,0

1	2
з умістом свинцю понад 10% при основній гомогенній структурі	4,0
мідь	8,0
з умістом свинцю понад 15%	12,0
Алюмінієві сплави	
силумін і загартовані ливарні сплави з межею міцності $\sigma_B=200-300$ МПа та твердістю $HB>60$	1,0
дюралюміній загартований з межею міцності $\sigma_B=400-500$ МПа і твердістю $HB>100$	
силумін і ливарні сплави з межею міцності $\sigma_B=100-200$ МПа	1,2
силумін і ливарні сплави з межею міцності $\sigma_B=100-200$ МПа та твердістю $HB\leq 65$	
дюралюміній з межею міцності $\sigma_B=300-400$ МПа і твердістю $HB\leq 100$	
дюралюміній з межею міцності $\sigma_B=200-300$ МПа	

Таблиця 7

Коефіцієнт K_{nv} для різних видів заготовок

Стан поверхні заготовки					
без кірки	з кіркою				
	прокат	поковки	сталеві та чавунні відливки з кіркою		мідні й алюмінієві сплави
			нормальною	дуже забрудненою	
1,0	0,9	0,8	0,8-0,85	0,5-0,6	0,9

Таблиця 8

Коефіцієнт K_{iv} для різних марок інструментальних матеріалів

Оброблюваний матеріал	Значення коефіцієнта залежно від марки інструментального матеріалу						
1	2						
Конструкційна сталь	T5K12B	T5K10	T14K8	T15K6	T15K6	T30K4	BK8
	0,35	0,65	0,8	1,00	1,15	1,4	0,4
Корозійностійкі та жароміцні сталі	BK8	T5K10	T15K6	P18	—		
	1,0	1,4	1,9	0,3			

1	2						
Загартована сталь	<i>HRC</i> 35–50				<i>HRC</i> 51–62		
	T15K6	T30K4	BK6	BK8	BK4	BK6	BK8
	1,0	1,25	0,85	0,83	1,0	0,92	0,74
Сірий та ковкий чавун	BK8	BK6	BK4	BK3	BK3	—	
	0,83	1,0	1,1	1,15	1,25		
Сталь, чавун, мідні та алюмінієві сплави	P6M5	BK4	BK6	9XC	XBГ	У12А	—
	1,0	2,5	2,7	0,6	0,6	0,5	

Таблиця 9

Коефіцієнт K_{Ti} для багатоінструментальної обробки при середньому, за рівномірністю, навантаженні інструмента

Кількість працюючих інструментів	1	3	5	8	10	15
Значення коефіцієнта	1	1,7	2	2,5	3	4

Примітки:

- 1) при рівномірному навантаженні інструментів коефіцієнт K_{Ti} збільшити у два рази;
- 2) при навантаженні інструментів із великою нерівномірністю коефіцієнт K_{Ti} зменшити на 20–30%.

Значення сили різання, що обчислені з використанням табличних даних, ураховують конкретні технологічні параметри, такі як глибина різання, подача, ширина фрезерування тощо, та дійсні при певних значеннях ряду інших факторів. Тому для отримання реального значення сили різання, що відповідає фактичним умовам цього процесу, необхідно ввести поправковий коефіцієнт K_p — загальний поправковий коефіцієнт, що враховує відмінність від табличних умов різання та являє собою добуток ряду коефіцієнтів. Найважливішим із них є коефіцієнт K_{mp} . Він ураховує властивості оброблюваного матеріалу. Його значення для сталі та чавуну наведені в табл. 11, а для мідних й алюмінієвих сплавів— у табл. 12.

Таблиця 10

Коефіцієнт K_{Te} при багатOVERстатному обслуговуванні

Кількість верстатів, що обслуговуються	1	2	3	4	5	6	≥7
Значення коефіцієнта	1,0	1,4	1,9	2,2	2,6	2,8	3,1

Таблиця 11

**Показник степеня n і співвідношення для обчислення
коефіцієнта K_{m_p} для сталі й чавуну**

Оброблюваний матеріал	Розрахункова формула	Показник степеня n при визначенні		
		складової сили різання P_z при обробці різцями	крутного моменту M та осьової сили P_o при свердлінні, розсвердлюванні й зенкеруванні	складової сили різання P_z при фрезеруванні
Конструкційна вуглецева й легрована сталь з $\sigma_B \leq 600$ МПа	$K_{m_p} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n$	0,75 0,35	0,75 0,75	0,3 0,3
Конструкційна вуглецева й легována сталь з $\sigma_B > 600$ МПа		0,75 0,75	0,75 0,75	0,3 0,3
Сірий чавун	$K_{m_p} = \left(\frac{HB}{190} \right)^n$	0,4 0,55	0,6 0,6	1,0 0,55
Ковкий чавун	$K_{m_p} = \left(\frac{HB}{150} \right)^n$	0,4 0,55	0,6 0,6	1,0 0,55

Примітка.

У чисельнику наведені значення показника степеня n для твердого сплаву, у знаменнику — для швидкорізальної сталі.

Таблиця 12

Коефіцієнт K_{m_p} для мідних і алюмінієвих сплавів

Оброблюваний матеріал	K_{m_p}
1	2
Мідні сплави	
гетерогенні з твердістю $HB \leq 120$	1,0
гетерогенні з твердістю $HB > 120$	0,75
свинцевисті при основній гетерогенній структурі та з умістом свинцю понад 10% при основній гомогенній структурі	0,65–0,70
гомогенні	1,8–2,2
мідь	1,7–2,1
з умістом свинцю понад 15%	0,25–0,45

1	2
Алюмінієві сплави	
алюміній і силуміни	1,0
дюралюміній з межею міцності $\sigma_B=250$ МПа	1,5
дюралюміній з межею міцності $\sigma_B=350$ МПа	2,0
дюралюміній з межею міцності $\sigma_B>350$ МПа	2,75

Розділ 3

ТОЧІННЯ

Головним рухом при точінні є обертовий рух деталі. Рух подачі надається різальному інструментові. Прямолінійний рух подачі може бути спрямований уздовж або впоперек осі обертання заготовки, відповідно до цього й подача називається поздовжньою або поперечною. Точіння здійснюється на токарних верстатах. Характерною ознакою цього процесу є безперервність різання.

Методом точіння можна виконувати такі види робіт: обточування зовнішніх і розточування внутрішніх поверхонь, підрізання торцевої поверхні, фасонне точіння фасонним різцем, а також копіювальне точіння за копіром.

Різальним інструментом при точінні є різці, конструкція, розміри й форма яких мають відповідати виконуваній операції. Так, наприклад, розточування виконується розточувальними різцями, відрізання пруткових заготовок або готових деталей – відрізними різцями.

Відділення шару матеріалу, що зрізується, здійснюється ріжучим лезом інструмента. Різальна частина інструмента обмежується робочими поверхнями, які залежно від розташування щодо оброблюваного виробу мають певні назви. Різні інструменти мають різноманітну форму затисочної й різальної частин, але саме різальні частини мають схожу форму, яка складається з робочих поверхонь, властивих різальній частині будь-якого інструмента. Зазвичай вона має одну передню й кілька задніх поверхонь.

Необхідно відзначити, що основні конструктивні особливості різальної частини токарного різця тією чи іншою мірою присутні в будь-

якому іншому виді різального інструмента, який утворює при обробці деталі стружку.

3.1. ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ РІЗАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ РІЗЦІВ

Токарний різець є найпростішим видом різального інструмента, який використовується для зняття стружки з поверхні оброблюваної заготовки на токарних, стругальних та розточувальних верстатах. Токарні різці будь-якого призначення мають з'єднувальну частину у вигляді державки або корпусу і різальну частину, на якій розташовані різальні поверхні та кромки. Різальну частину виготовляють з інструментальних сталей, металорізальних твердих сплавів, неметалевих інструментальних матеріалів і прикріплюють до з'єднувальної частини. У різальній частині розрізняють такі елементи (див. рис. 3.1): передня поверхня 1, по якій сходиться зрізана стружка; задня поверхня (головна 2 і допоміжна 3, повернута до оброблюваної заготовки); головна різальна кромка 4, утворена передньою і головною задньою поверхнею, допоміжна різальна кромка 5, утворена перетином передньої і допоміжної задньої поверхні; вершина різця 6—з'єднання головної і допоміжної різальної кромки.

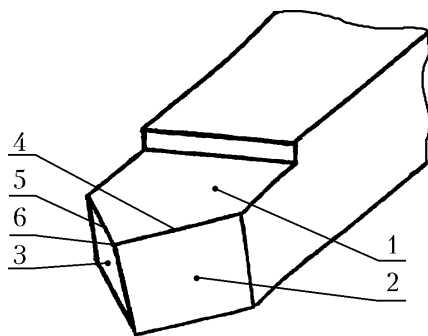


Рис. 3.1. Елементи різальної частини різця:

- 1 — передня поверхня; 2 — головна поверхня;
- 3 — допоміжна поверхня; 4 — головна різальна кромка;
- 5 — допоміжна різальна кромка; 6 — вершина різця

Головна різальна кромка виконує основну роботу — різання, а допоміжна — формування оброблюваної поверхні. Так, на оброблюваній заготовці при зніманні стружки різцем розрізняють такі поверхні (див. рис. 3.2): оброблювана 1, з якої необхідно зрізати шар металу (при-

пуск); оброблена 2 — поверхня заготовки (деталі), одержана після зняття стружки; поверхня різання 3 — утворена різальною кромкою різця.

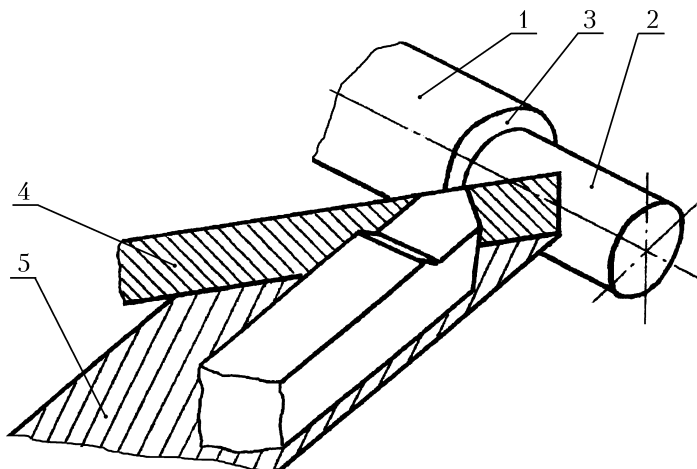


Рис. 3.2. Поверхні оброблюваної заготовки та площини при різанні:

1 — оброблювана поверхня; 2 — оброблена поверхня;
3 — поверхня різання; 5 — основна площина; 6 — площина різання

Крім того, розрізняють головну і допоміжну січні площини (рис. 3.3). Головна січна площина $N-N$ перпендикулярна проекції головної різальної кромки на основну площину. Допоміжна січна площина N_1-N_1 перпендикулярна проекції допоміжної різальної кромки на основну площину. Геометричні параметри різальної частини, токарного різця розподіляють на кінематичні кути (кути руху) і статичні кути (кути заточування). Розглянемо статичні кути.

У головній січній площині $N-N$ утворюються: головний задній кут α між головною задньою поверхнею різця і площиною різання; головний передній кут γ між передньою поверхнею різця та площиною $N-N$, перпендикулярною площині різання і проведеною через головну різальну кромку (кут γ прийнято вважати додатним, якщо передня поверхня різця розташована нижче площини $N-N$, і від'ємним — якщо вище площини $N-N$); кут загострення β між передньою і основною поверхнями різання; кут різання δ між передньою поверхнею різця і площиною різання.

Згідно з поданими вище позначеннями

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ, \beta = 90^\circ - \gamma - \alpha.$$

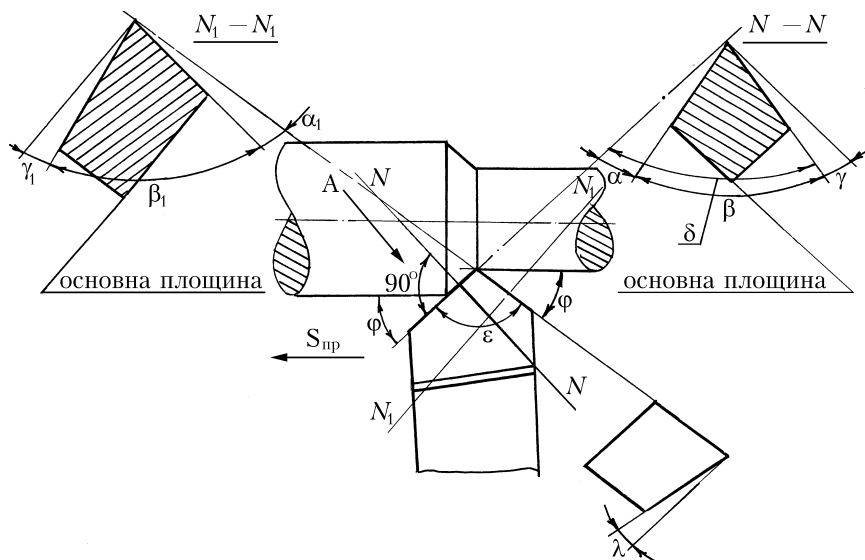


Рис. 3.3. Статичні кути токарного різця

У допоміжній січній площині $N_1 - N_1$ аналогічно головній $N - N$ розрізняють допоміжний задній кут α_1 , допоміжний передній кут γ_1 і кут загострення β_1 .

У плані утворюються такі кути: головний φ між проекцією головної різальної кромки на основну площину і напрямком поздовжньої подачі; допоміжний φ_1 між проекцією допоміжної різальної кромки на основну площину і напрямком поздовжньої подачі; кут при вершині різця ϵ між проекціями на основну площину головної і допоміжної різальної кромки.

Кут при вершині різця дорівнює:

$$\epsilon = 180^\circ - (\varphi + \varphi_1).$$

Кут нахилу головної різальної кромки λ до площини, проведеної через вершину різця паралельно основній, вимірюється в площині, що проходить через цю кромку перпендикулярно основній. Кут $\lambda = 0$, коли різальна кромка паралельна основній площині (рис. 3.4, а); він від'ємний, коли вершина різця є вищою точкою (рис. 3.4, б); він додатний, коли вершина різця є нижчою точкою різальної кромки (рис. 3.4, в).

Для контрольного вимірювання геометричних параметрів токарного різця використовуються штангенциркуль, вимірювальна лінійка, універсальний кутомір, настільний кутомір. Довжину і переріз з'єднувальної частини (державки) токарного різця вимірюють штангенцир-

кулем або вимірювальною лінійкою, кути в плані — універсальним кутоміром, кути в головній і допоміжній січних площинах, а також кут нахилу головної різальної кромки — настільним кутоміром.

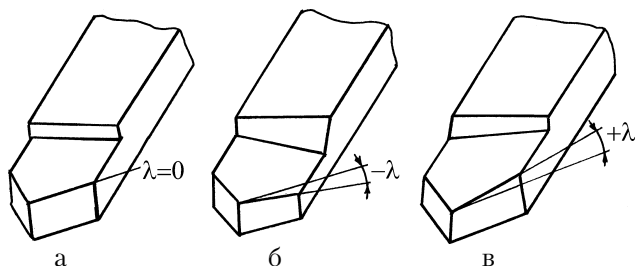


Рис. 3.4. Кут нахилу головної різальної кромки токарного різця:

а — головна різальна кромка паралельна основній площині;
 б — вершина різця — вища точка головної різальної кромки;
 в — вершина різця — нижча точка головної різальної кромки

Для контролю геометричних параметрів різця застосовується різні системи координат. Кожна система координат має початок у вершині леза. Інструментальна система координат орієнтована відносно геометричних елементів різального інструмента, прийнятих за базу, статична — щодо напрямку швидкості головного руху різання, а кінематична — відносно напрямку швидкості результуючого руху різання. Геометричні параметри різального інструмента розглядаються в цих системах координат, у статичній — як геометричні параметри твердого тіла, у кінематичній — як кути працюючого інструмента в процесі різання. Усі кути у статичній системі координат називаються статичними кутами, кути в кінематичній системі координат — кінематичними.

Окрім розгляду кутів різця в статичній системі координат як кутів геометричного тіла, варто розглядати кути різця в процесі різання у кінематичній системі координат. При різанні, внаслідок додавання головного руху до руху подачі, змінюється величина кутів різального інструмента, наданих йому при заточенні. Величина кінематичних кутів відрізняється від значень статичних кутів на величину кінематичного кута швидкості різання, тобто кута між векторами швидкості головного руху різання й швидкості результуючого руху. У процесі різання задній кут зменшується, а передній збільшується на величину кінематичного кута швидкості різання.

Дійсна величина кутів різця також залежить від його положення

відносно осі центрів токарного верстата. Дійсна величина переднього й заднього кутів змінюється на величину кута установки. Також при установці різця вище від осі центрів задній кут зменшується, а передній збільшується і, навпаки, при установці різця нижче від осі центрів — збільшується задній кут і зменшується передній. Зміна кутів інструмента при різанні тим більша, чим менший діаметр оброблюваної заготовки й більша подача.

3.2. ПРИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ

Розрахунок режимів різання виконується поетапно в зазначеній вище послідовності.

Глибина різання t . При чорновому точінні та відсутності обмежень щодо потужності устаткування й жорсткості системи ВПІД глибина різання має дорівнювати припуску на обробку. При чистовому точінні припуск зрізають за два чи більше проходів. Для кожного наступного проходу, на відміну від попереднього, необхідно призначати меншу глибину різання. При параметрі шорсткості оброблюваної поверхні $Ra = 3,2$ мкм включно глибина різання має становити $0,5 - 2,0$ мм, а при $Ra \geq 0,8$ мкм, $t = 0,1 - 0,4$ мм.

Подача S . При чорновому точінні призначають максимально припустиме значення подачі, яке обмежене потужністю устаткування, жорсткістю системи ВПІД, а також міцністю різальної пластини та державки різця. Рекомендовані подачі при чорновому зовнішньому точінні наведені в табл. 13, а при чорновому розточуванні — в табл. 14. Максимальні значення подач при точінні сталі 45, що обмежені міцністю пластини з твердого сплаву, наведені в табл. 15. Подачі при чистовому точінні вибирають залежно від необхідних параметрів шорсткості оброблюваної поверхні й радіуса при вершині різця (див. табл. 16). При нарізанні пазів та відрізанні величина поперечної подачі залежить від властивостей оброблюваного матеріалу, розмірів паза та діаметра обробки (див. табл. 17). Рекомендовані подачі при фасонному точінні наведені в табл. 18.

Швидкість різання V . При зовнішньому повздовжньому та поперечному точінні та розточуванні швидкість різання (у м/хв) розраховують за емпіричною формулою

$$V = \frac{C_V}{T^m t^X S^Y} K_V,$$

а при відрізання, прорізання та фасонному точінні за формулою

$$V = \frac{C_V}{T^m S^Y} K_V.$$

Середнє значення стійкості T при одноінструментальній обробці становить 30—60 хв. Значення коефіцієнта C_V , показників степеня X , Y та m наведені в табл. 19.

Таблиця 13

Подачі для чорнового зовнішнього точіння різцями з пластинами з твердого сплаву та швидкорізальної сталі

Діаметр деталі, мм	Переріз державки різця, мм	Подача S , мм/об при глибині різання t , мм			
		до 3	3–5	5–8	8–12
Сталь конструкційна, вуглецева, легувана та жароміцна					
до 20	від 16×25 до 25×25	0,3–0,4			
20–40	від 16×25 до 25×25	0,4–0,5	0,3–0,4		
40–60	від 16×25 до 25×40	0,5–0,9	0,4–0,8	0,3–0,7	
60–100	від 16×25 до 25×40	0,6–1,2	0,5–1,1	0,5–0,9	0,4–0,8
100–400	від 16×25 до 25×40	0,8–1,3	0,7–1,2	0,6–1,0	0,5–0,9
400–500	від 20×30 до 40×60	1,1–1,4	1,0–1,3	0,7–1,2	0,6–1,2
Чавун та мідні сплави					
до 20	від 16×25 до 25×25				
20–40	від 16×25 до 25×25	0,4–0,5			
40–60	від 16×25 до 25×40	0,6–0,9	0,5–0,8	0,4–0,7	
60–100	від 16×25 до 25×40	0,8–1,4	0,7–1,2	0,6–1,0	0,5–0,9
100–400	від 16×25 до 25×40	1,0–1,5	0,8–1,9	0,8–1,1	0,6–0,9
400–500	від 20×30 до 40×60	1,3–1,6	1,2–1,5	1,0–1,2	0,7–0,9

Примітки:

1) менші значення подач відповідають меншим розмірам державки різця та оброблюваним матеріалам із вищою міцністю, більші значення подач — більшим розмірам державки різця й оброблюваним матеріалам із нижчою міцністю;

2) для обробки жароміцних сталей та сплавів подачі, що перевищують 1 мм/об, не призначати;

3) при обробці переривчастих поверхонь та при роботі з ударами значення подач із таблиці мають бути зменшені множенням на коефіцієнт 0,75—0,85;

4) при обробці загартованих сталей табличні значення подачі мають бути зменшені множенням на коефіцієнт 0,8 для сталі з HRC 44—56 та на 0,5 для сталі з HRC 57—62.

Таблиця 14

**Подачі для чорнового розточування на токарних
та токарно-револьверних верстатах різцями з пластинами з
твердого сплаву та швидкорізальної сталі**

Діаметр перерізу різця або розміри перерізу оправки, мм	Виліт різця або оправки, мм	Подача S , мм/об при глибині різання t , мм			
		2	3	5	8
Сталь конструкційна, вуглецева, легована та жароміцна					
10	50	0,08			
12	60	0,10	0,08		
16	80	0,1–0,2	0,15	0,1	
20	100	0,15–0,3	0,15–0,25	0,12	
25	125	0,25–0,5	0,15–0,4	0,12–0,2	
30	150	0,4–0,7	0,2–0,5	0,12–0,3	
40	200		0,25–0,6	0,15–0,4	
40×40	150		0,6–1,0	0,5–0,7	
	300		0,4–0,7	0,3–0,6	
60×60	150		0,9–1,2	0,8–1,0	0,6–0,8
	300		0,7–1,0	0,5–0,8	0,4–0,7
75×75	300		0,9–1,3	0,8–1,1	0,7–0,9
	500		0,7–1,0	0,6–0,9	0,5–0,7
	800			0,4–0,7	
Чавун та мідні сплави					
10	50	0,12–0,16			
12	60	0,12–0,2	0,12–0,18		
16	80	0,2–0,3	0,15–0,25	0,1–0,18	
20	100	0,3–0,4	0,25–0,35	0,12–0,25	
25	125	0,4–0,6	0,3–0,5	0,25–0,35	
30	150	0,5–0,8	0,4–0,6	0,25–0,45	
40	200		0,6–0,8	0,3–0,8	
40×40	150		0,7–1,2	0,5–0,9	0,4–0,5
	300		0,6–0,9	0,4–0,7	0,3–0,4
60×60	150		1,0–1,5	0,8–1,2	0,6–0,9
	300		0,9–1,2	0,7–0,9	0,5–0,7
75×75	300		1,1–1,6	0,9–1,3	0,7–1,0
	500			0,7–1,1	0,6–0,8
	800			0,6–0,8	

Примітки:

1) більші значення подач рекомендуються для меншої глибини різання та при обробці менш міцних матеріалів, нижче — для більшої глибини та більш міцних матеріалів;

2) див. пп. 2–4 приміток до табл. 13.

Таблиця 15

**Подачі (мм/об), що обмежені міцністю пластини
із твердого сплаву, для точіння конструкційної сталі різцями
з головним кутом у плані $\varphi=45^\circ$**

Товщина пластини, мм	Глибина різання t , мм			
	до 4	4–7	7–13	13–22
4	1,3	1,1	0,9	0,8
6	2,6	2,2	1,8	1,5
8	4,2	3,6	3,6	2,5
10	6,1	5,1	4,2	3,6

Примітки:

- 1) залежно від механічних властивостей сталі табличне значення подачі необхідно помножити на поправковий коефіцієнт 1,2 при $\sigma_B = 480 - 640$ МПа, на 1,0 при $\sigma_B = 650 - 870$ МПа та на 0,85 при $\sigma_B = 870 - 1170$ МПа;
- 2) при обробці чавуну табличне значення подачі помножити на 1,6;
- 3) табличне значення подачі помножити на 1,4 при $\varphi = 30^\circ$, на 1,0 при $\varphi = 45^\circ$, на 0,6 при $\varphi = 60^\circ$ та на 0,4 при $\varphi = 90^\circ$;
- 4) для обробки з ударами подачу зменшити на 20%.

Таблиця 16

Подачі (мм/об) для чистового точіння

Параметр шорсткості поверхні, мкм		Радіус при вершині різця r , мм					
		0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
Ra	Rz	0,07	0,10	0,12	0,14	0,15	0,17
0,63		0,10	0,13	0,165	0,19	0,21	0,23
1,25		0,144	0,20	0,246	0,29	0,32	0,35
2,5		0,25	0,33	0,42	0,49	0,55	0,60
	20	0,35	0,51	0,63	0,72	0,80	0,87
	40	0,47	0,66	0,81	0,94	1,04	1,14
	80						

Примітка.

Значення подач наведені для обробки сталей з $\sigma_B = 700 - 900$ МПа та чавунів. Для сталей з $\sigma_B = 500 - 700$ МПа значення подач помножити на коефіцієнт 0,45, для сталей з $\sigma_B = 900 - 1100$ МПа — на 0,25.

Таблиця 17

**Подачі (мм/об) для прорізання пазів і відрізання
на токарно-револьверних верстатах**

Діаметр обробки, мм	Ширина різця, мм	Оброблюваний матеріал	
		сталь конструкційна вуглецевиста, легована та сталеве литво	чавун, мідні й алюмінієві сплави
до 20	3	0,06–0,08	0,11–0,14
20–40	3–4	0,10–0,12	0,16–0,19
40–60	4–5	0,13–0,16	0,20–0,24
60–100	5–8	0,16–0,23	0,24–0,32
100–150	6–10	0,18–0,26	0,30–0,40
понад 150	10–15	0,28–0,36	0,40–0,55

Примітки:

1) під час відрізання суцільного матеріалу діаметром понад 60 мм при наближенні різця до осі деталі на половину радіуса табличне значення подачі необхідно зменшити на 40–50%;

2) для загартованої конструкційної сталі табличне значення подачі зменшити на 30% при $HRC < 50$ та на 50% при $HRC > 50$;

3) при роботі різцями, що встановлені у револьверну головку, табличне значення помножити на коефіцієнт 0,8.

Таблиця 18

Подачі (мм/об) для фасонного точіння

Ширина різця, мм	Діаметр обробки, мм			
	20	25	40	понад 60
8	0,03–0,09	0,04–0,09	0,04–0,09	0,04–0,09
10	0,03–0,07	0,04–0,085	0,04–0,085	0,04–0,085
15	0,02–0,05	0,035–0,075	0,04–0,08	0,04–0,08
20	—	0,03–0,06	0,04–0,08	0,04–0,08
30	—	—	0,035–0,07	0,035–0,07
40	—	—	0,03–0,06	0,03–0,06
понад 50	—	—	—	0,025–0,055

Примітка.

Менші значення подачі слід застосовувати для більш складних та глибоких профілів і твердих металів, більші — для простих профілів і м'яких металів.

Таблиця 19

**Коефіцієнт C_v і показники степенів у формулах
для швидкості різання при обробці різцями**

Вид обробки	Матеріал різальної частини різця	Характе- ристика подачі S , мм/об	Коефіцієнт і показники степенів			
			C_v	X	Y	m
Обробка конструкційної вуглецевистої сталі з $\sigma_B=750$ МПа						
Зовнішнє повздовжнє точіння прохідними різцями	T15K6*	$S \leq 0,30$	420	0,15	0,20	0,20
		$0,30 < S \leq 0,70$	350		0,35	
		$S > 0,70$	340		0,45	
Відрізання	T15K10*	—	47	—	0,80	0,20
Фасонне точіння	P18**		23,7		0,66	0,25
			22,7		0,50	0,30
Нарізання кріпильної різьби	T15K6*	—	244	0,23	0,30	0,20
	P6M5	Чорнові ходи $p \leq 2$ мм	14,8	0,70	0,30	0,11
		Чорнові ходи $p > 2$ мм	30	0,60	0,25	0,08
		Чистові ходи	41,8	0,45	0,30	0,13
Обробка сірого чавуну з HB 190						
Зовнішнє повздовжнє точіння прохідними різцями	BK6*	$S \leq 0,40$	292	0,15	0,20	0,20
		$S > 0,40$	243		0,40	
Відрізання	BK6*	—	68,5	—	0,40	0,20
Нарізання кріпильної різьби			83	0,45	—	0,33
Обробка ковкого чавуну з HB 150						
Зовнішнє повздовжнє точіння прохідними різцями	BK8*	$S \leq 0,20$	317	0,15	0,20	0,20
		$S > 0,20$	215		0,45	
Відрізання	BK6*	—	86	—	0,40	0,20
Обробка мідних гетерогенних сплавів середньої твердості, HB 100–140						
Зовнішнє повздовжнє точіння прохідними різцями	P18*	$S \leq 0,20$	270	0,12	0,25	0,23
		$S > 0,20$	182		0,30	
Обробка силумінів і ливарних алюмінієвих сплавів з $\sigma_B=100$ –200 МПа, $HB \leq 65$ та дюралюмінію з $\sigma_B=300$ –400 МПа, $HB \leq 100$						
Зовнішнє повздовжнє точіння прохідними різцями	P18*	$S \leq 0,20$	485	0,12	0,25	0,28
		$S > 0,20$	328		0,50	

* — без охолодження, ** — з охолодженням.

Примітки (до табл. 19):

1) для внутрішньої обробки (розточування, прорізання канавок в отворах, внутрішнього фасонного точіння) призначати швидкість різання для зовнішньої обробки з уведенням поправкового коефіцієнта 0,9;

2) при обробці конструкційних і жароміцних сталей, а також сталевих відливків без охолодження різцями із швидкорізальної сталі вводити поправковий коефіцієнт на швидкість різання 0,8;

3) для конструкційних сталей та сталевих відливків при відрізання та прорізання з охолодженням різцями із твердого сплаву Т15К6 вводити поправковий коефіцієнт на швидкість різання 1,4;

4) при фасонному точінні глибокого та складного профілю на швидкості різання вводити поправковий коефіцієнт 0,85;

5) при обробці термооброблених сталей різцями зі швидкорізальної сталі швидкість різання зменшувати введенням поправкового коефіцієнта 0,95 — при нормалізації, 0,9 — при відпалюванні, 0,8 — при поліпшенні.

Коефіцієнт K_V при точінні є добутком коефіцієнтів, що враховують якість оброблюваного матеріалу та вплив його фізико-механічних властивостей на швидкість різання K_{m_V} (табл. 3—6), стан поверхні заготовки K_{n_V} (табл. 7), властивості матеріалу інструмента K_{i_V} (табл. 8), зміну періоду стійкості при багатоінструментальній обробці K_{Ti} (табл. 9), зміну періоду стійкості при багатOVERстатному обслуговуванні K_{Te} (табл. 10), кути у плані різця K_{ϕ_V} , $K_{\phi_{1V}}$ та радіус при вершині різця K_r (табл. 20), тобто

$$K_V = K_{m_V} K_{n_V} K_{i_V} K_{Ti} K_{Te} K_{\phi_V} K_{\phi_{1V}} K_r.$$

Оздоблювальна токарна обробка має ряд особливостей, що відрізняють її від чорнового та міжопераційного точіння. Тому режими різання, які рекомендують при тонкому алмазному точінні на швидкохідних токарних верстатах підвищеної точності й розточувальних верстатах, наведені окремо в табл. 21.

Режими різання при точінні загартованої сталі різцями із твердого сплаву наведені в табл. 22

Сила різання P (Н). Силу різання зазвичай розкладають на складові, що збігаються з напрямком осей координат верстата, тобто на тангенціальну P_Z , радіальну P_Y та осьову P_X . При зовнішньому повздовжньому та поперечному точінні, розточуванні, відрізання, прорізання пазів та фасонному точінні вони обчислюються за формулою:

$$P_{Z,Y,X} = 10 C_p t^X S^Y V^n K_p.$$

При відрізання, прорізання та фасонному точінні t є довжиною леза різця. Коефіцієнт C_p та показники степенів X , Y та n за певних розрахункових умов обробки наведені у табл. 23 для кожної зі складо-

вих сили різання. Поправковий коефіцієнт K_p являє собою добуток ряду коефіцієнтів:

$$K_p = K_{m_p} K_{\varphi_p} K_{\gamma_p} K_{\lambda_p} K_{r_p},$$

що враховують фактичні умови різання. Числові значення цих коефіцієнтів наведені в табл. 11, 12 та 24.

Таблиця 20

Поправкові коефіцієнти, що враховують вплив параметрів різця на швидкість різання

Головний кут у плані $\varphi, ^\circ$	Коефіцієнт K_{φ_V}	Допоміжний кут у плані $\varphi_1, ^\circ$	Коефіцієнт $K_{\varphi_{1V}}$	Радіус при вершині різця $r^*, \text{мм}$	Коефіцієнт K_{r_V}
20	1,4	10	1,00	1	0,94
30	1,2	15	0,97	2	1,00
45	1,0	20	0,94	3	1,03
60	0,9	30	0,91	—	—
75	0,8	45	0,87	5	1,13
90	0,7	—	—	—	—

* — враховують тільки для різців із швидкорізальної сталі.

Таблиця 21

Режими різання при тонкому точінні та розточуванні

Оброблюваний матеріал	Матеріал робочої частини різального інструмента	Параметр шорсткості поверхні $Ra, \text{мкм}$	Подача $S, \text{мм/об}$	Швидкість різання $V, \text{м/хв}$
Сталь з $\sigma_B < 650 \text{ МПа}$	Т30К4	1,25–0,63	0,06–0,12	250–300
Сталь з $\sigma_B = 650–800 \text{ МПа}$				150–200
Сталь з $\sigma_B > 800 \text{ МПа}$				120–170
Чавун з $HB \ 149–163$	ВК3	2,5–1,25	0,06–0,12	150–200
Чавун з $HB \ 156–229$				120–150
Чавун з $HB \ 170–241$				100–120
Алюмінієві сплави та бабіт	ВК3	1,25–0,32	0,04–0,1	300–600
Бронза й латунь			0,04–0,08	180–500

Примітки:

- 1) глибина різання становить 0,1–0,15 мм;
- 2) попередній прохід із глибиною різання 0,4 мм поліщує геометричну форму поверхні;

3) менші значення параметрів шорсткості поверхні відповідають меншим значенням подач.

Ефективна потужність різання N_e (кВт) розраховується за формулою

$$N_e = \frac{P_z V}{1020 \cdot 60}.$$

При одночасній роботі декількох інструментів ефективна потужність різання визначається як сумарна потужність окремих інструментів.

Основний технологічний час T_o (хв) обчислюється за формулами, що наведені в табл. 55.

Таблиця 22

**Режими різання при точінні загартованої сталі
різцями з пластинками із твердого сплаву**

Подача <i>S</i> , мм/об	Ширина прорізання, мм	Швидкість різання <i>V</i> , м/хв залежно від твердості оброблюваного матеріалу <i>HRC</i>									
		35	39	43	46	49	51	53	56	59	62
Зовнішнє повздовжнє точіння											
0,2	—	157	135	116	107	83	76	66	48	32	26
0,3		140	118	100	92	70	66	54	39	25	20
0,4		125	104	88	78	60	66	45	33	—	—
0,5		116	95	79	71	53	—	—	—	—	—
0,6		108	88	73	64	48	—	—	—	—	—
Прорізання пазів											
0,05	3	131	110	95	83	70	61	54	46	38	29
0,08	4	89	75	65	56	47	41	37	31	25	19
0,12	6	65	55	47	41	35	30	27	23	18	14
0,16	8	51	43	37	32	27	23	—	—	—	—
0,20	12	43	36	31	27	23	20	—	—	—	—

Примітки:

1) залежно від глибини різання табличне значення швидкості різання необхідно помножити на поправковий коефіцієнт 1,15 при $t = 0,4 - 0,9$ мм, на 1,0 при $t = 1 - 2$ мм та на 0,91 при $t = 2 - 3$ мм;

2) залежно від параметра шорсткості табличне значення швидкості різання необхідно помножити на поправковий коефіцієнт 1,0 для $Rz = 10$ мкм, на 0,9 для $Ra = 2,5$ мкм та на 0,7 для $Ra = 1,25$ мкм;

3) залежно від марки твердого сплаву швидкість різання необхідно помножити на поправковий коефіцієнт K_{iv} (див. табл. 8);

4) залежно від головного кута у плані різця поправковий коефіцієнт становитиме 1,2 при $\varphi = 30^\circ$, 1,0 при $\varphi = 45^\circ$, 0,9 при $\varphi = 60^\circ$, 0,8 при $\varphi = 75^\circ$ та 0,7 при $\varphi = 90^\circ$;

5) при роботі без охолодження табличне значення швидкості різання помножити на коефіцієнт 0,9.

Коефіцієнт C_p та показники степенів у формулах для сили різання при точінні

Оброблюваний матеріал	Матеріал робочої частини різця	Вид обробки	Коефіцієнт і показники степенів у формулах для складових сили різання											
			тангенціальної P_z				радіальної P_y				осьової P_x			
			C_p	X	Y	n	C_p	X	Y	n	C_p	X	Y	n
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Конструкційна сталь і сталеві відливки з $\sigma_B=750$ МПа	Твердий сплав	Зовнішнє повздовжнє й поперечне точіння та розточування	300	1,0	0,75	-0,15	243	0,9	0,6	-0,3	339	1	0,5	-0,4
		Відрізання та прорізання	408	0,72	0,8	0	173	0,73	0,67	0	—	—	—	—
		Нарізання різьби	148	—	1,7	0,71	—	—	—	—	—	—	—	—
	Швидко-різальна сталь	Зовнішнє повздовжнє точіння, відрізання й розточування	200	1,0	0,75	0	125	0,9	0,75	0	67	1,2	0,65	0
		Відрізання й прорізання	247	1,0	0,75	0	—	—	—	—	—	—	—	—
Сталь жароміцна 12X18H9T з HB141	Твердий сплав	Фасонне точіння	212	1,0	0,75	0	—	—	—	—	—	—	—	—
		Зовнішнє повздовжнє й поперечне точіння та розточування	204	1,0	0,75	0	—	—	—	—	—	—	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Сірий чавун з HB190	Твердий сплав	Зовнішнє повздожне й поперечне точіння та розточування	92	1,0	75	0	54	0,9	0,75	0	46	1,0	0,4	0
		Нарізання різби	103	—	1,8	0,82	—	—	—	—	—	—	—	—
	Швидко- різальна сталь	Відрізання й прорізання	158	1,0	1,0	0	—	—	—	—	—	—	—	—
Ковкий чавун з HB150	Твердий сплав	Зовнішнє повздожне й поперечне точіння та розточування	81 100	1,0	0,75	0	43 88	0,9	0,75	0	38 40	1,0 1,2	0,4 0,65	0
		Відрізання й прорізання	139	1,0	1,0	0	—	—	—	—	—	—	—	—
Мідні гетерогенні сплави з HB120	Швидко- різальна сталь	Зовнішнє повздожне й поперечне точіння та розточування	55	1,0	0,66	0	—	—	—	—	—	—	—	—
		Відрізання й прорізання	75	1,0	1,0	0	—	—	—	—	—	—	—	—
Алюміній та силуміни		Зовнішнє повздожне й поперечне точіння та розточування	40	1,0	0,75	0	—	—	—	—	—	—	—	—
		Відрізання й прорізання	50	1,0	1,0	0	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблиця 24

**Поправкові коефіцієнти, що враховують вплив
геометричних параметрів різальної частини інструмента
на складові сили різання при обробці сталі й чавуну**

Параметри		Матеріал робочої частини різця	Поправкові коефіцієнти			
Назва	Вели- чина		Позна- чення	Величина коефіцієнта для складових сили різання		
				P_z	P_y	P_x
Головний кут у плані φ , °	30	Твердий сплав	K_{φ_P}	1,08	1,3	0,78
	45			1,0	1,0	1,0
	60			0,94	0,77	1,11
	90			0,89	0,5	1,17
	30	Швидко- різальна сталь		1,08	1,63	0,7
	45			1,0	1,0	1,0
	60			0,98	0,71	1,27
	90			1,08	0,44	1,82
Передній кут γ , °	-15	Твердий сплав	K_{γ_P}	1,25	2,0	2,0
	0			1,1	1,4	1,4
	10			1,0	1,0	1,0
	12-15	Швидко- різальна сталь		1,15	1,6	1,7
	20-25			1,0	1,0	1,0
Кут нахилу головного леза λ , °	-0,5	Твердий сплав	K_{λ_P}	1,0	0,75	1,07
	0				1,0	1,0
	5				1,25	0,85
	15				1,7	0,65
Радіус при вершині r , мм	0,5	Швидко- різальна сталь	K_{r_P}	0,87	0,66	1,0
	1,0			0,93	0,82	
	2,0			1,0	1,0	
	3,0			1,04	1,14	
	4,0			1,1	1,33	

Розділ 4

СВЕРДЛІННЯ, РОЗСВЕРДЛЮВАННЯ, ЗЕНКЕРУВАННЯ, РОЗГОРТАННЯ

Свердління, зенкерування й розгортання — процеси обробки різанням глухих і наскрізних отворів. Відповідно до виду обробки застосовуються свердла, зенкери й розгортки. У всіх випадках головним рухом є обертовий рух інструмента, а рухом подачі — його поступальне переміщення уздовж осі обертання. Певний вид обробки застосовуються залежно від необхідної одержання потрібної точності діаметра отвору, а також якості та шорсткості обробленої поверхні.

Свердлами зазвичай обробляються отвори в суцільному матеріалі у випадках, коли вимоги до точності обробки є мінімальними. З метою забезпечення більш суворих вимог до точності отворів після свердління виконують обробку зенкерами й розгортками. Така додаткова обробка підвищує точність отворів. Це забезпечується кращим centruванням різальної частини інструмента через наявність більшого числа ріжучих лез, а також підвищеною твердістю інструмента й менш напруженими умовами роботи кожного леза.

Свердло має дві ріжучі кромки, при свердлінні можна забезпечити шорсткість поверхні $Rz = 100 - 40$ мкм. Різальна частина зенкера може мати 3—6 ріжучих кромок, така обробка забезпечує шорсткість у межах $Rz = 20 - 10$ мкм. Розгортка має 4—12 лез і забезпечує найвищу точність, шорсткість поверхні після такої обробки становить $Rz = 3 - 10$ мкм.

При свердлінні в суцільному матеріалі глибина різання t дорівнює половині діаметра свердла, а при розсвердлюванні — половині різниці діаметрів до й після обробки.

Подачею S при свердлінні, зенкеруванні й розгортанні є величина осевого переміщення інструмента за час одного його оберту. Оскільки при свердлінні різання одночасно ведеться двома ріжучими лезами, то кожне з них працює з подачею, яка дорівнює половині осевого переміщення свердла за час його одного оберту. Швидкістю різання буде швидкість найбільш віддалених від осі інструмента периферійних точок ріжучих кромок.

На відміну від інших процесів різання, свердління має свої особливості. Вони полягають у тому, що різання ведеться інструментом, передній кут якого різний у різних точках ріжучого леза. Швидкість різання тут також не постійна й змінюється від нуля уздовж осі свердла до якогось максимального значення на периферії свердла. У центрі

отвору, під перемичкою свердла, різання як таке відсутнє — відбувається зминання й видавлювання оброблюваного матеріалу до периферії під ріжучі кромки.

Особливістю геометрії свердла є наявність п'ятої поперечної ріжучої кромки. Стрічка свердла не має допоміжного заднього кута, що викликає підвищене тертя з оброблюваною поверхнею. Особливістю свердління є також і те, що свердло, оточене оброблюваним матеріалом, працює у стиснутих умовах. Це ускладнює відведення стружки й циркуляцію зовнішнього середовища, що призводить до погіршених умов охолодження.

При зенкеруванні й розгортанні елементи режиму різання визначаються так само, як при розсвердлюванні. Кожен зуб зенкера або розгортки працює з подачею, яка дорівнює частині осьової подачі. Оскільки зенкери й розгортки мають головні кути в плані менші, ніж у свердла, товщина зрізу при такій обробці буде меншою, чим при свердлінні.

4.1. ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ ІНСТРУМЕНТІВ

Спіральне свердло — це різальний інструмент, призначений для утворення глухих та наскрізних отворів у суцільній заготовці, а також для розсвердлювання вже існуючих отворів. Воно складається з робочої частини, шийки та хвостовика. У свою чергу робоча частина поділяється на різальну та калібруючу (рис. 4.1).

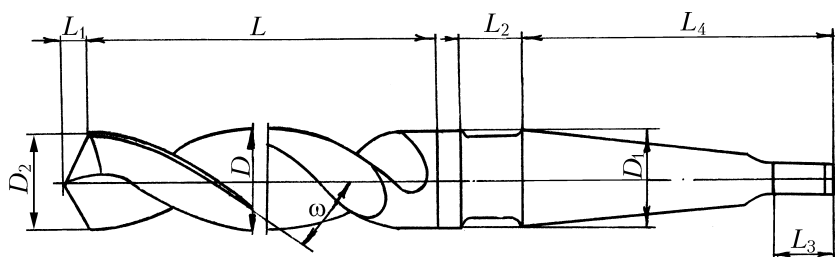


Рис. 4.1. Складові частини спірального свердла:

L_1 — різальна частина; L — калібруюча частина;
 $L_1 + L$ — робоча частина; L_2 — шийка; L_3 — лапка;
 L_4 — хвостовик; ω — кут нахилу гвинтової канавки

Хвостовик спірального свердла діаметром від 0 до 10 мм має, як правило, форму циліндра, а діаметром понад 10 мм — форму конуса. На робочій частині симетрично розташовані дві гвинтові канавки з кутом

нахилу до поздовжньої осі ω . Для зменшення площі дотику зовнішньої поверхні свердла і висвердлюваного отвору діаметр цієї поверхні D зменшується на ділянці L . Тільки вздовж краю гвинтових канавок у вигляді вузької стрічки шириною f (рис. 4.2) зберігається поверхня зовнішнього діаметра. У центрі свердла між гвинтовими канавками знаходиться перемичка товщиною C , яка з'єднує дві різальні кромки і називається поперечною кромкою. Для уникнення розбивки і можливого защемлення свердла у просвердлюваному отворі діаметр D зменшується в напрямку від різальної частини вздовж усієї робочої частини. Зменшення діаметра свердла прийнято називати зворотною конусністю.

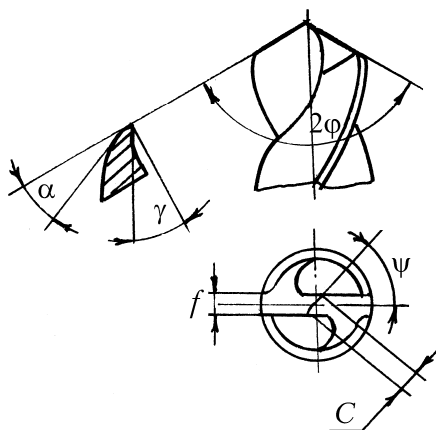


Рис. 4.2. Геометричні параметри різальної частини спірального свердла:

γ —передній кут; α —задній кут; ϕ —головний кут в плані;
 2ϕ —кут різальної частини; ψ —кут нахилу поперечної різальної кромки; C —поперечна кромка; f —зовнішня поверхня

На різальній частині свердла виділяють передні й задні поверхні. Передніми поверхнями свердла є поверхні гвинтових канавок. Задніми—їх торцеві поверхні. Лінія перетину передньої та задньої поверхонь і є головною різальною кромкою свердла. Функцію допоміжної різальної кромки виконує гвинтова лінія, утворена перетином поверхні гвинтової канавки і поверхні стрічки шириною f , що прилягає до неї.

Геометрія різальної частини свердла характеризується кутами: переднім γ , заднім α , головним кутом в плані ϕ (кут 2ϕ називається кутом різальної частини, або кутом при вершині), кутом нахилу поперечної різальної кромки ψ , кутом нахилу гвинтової стружкової канавки ω .

Значення цих кутів і конструктивні елементи вибираються залежно від призначення інструмента та умов обробки.

4.2. ПРИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ

Глибина різання t . При свердлінні глибина різання визначається таким чином:

$$t = \frac{D}{2},$$

де D — діаметр свердла, мм. При розсвердлюванні, зенкеруванні та розгортанні вона становить

$$t = \frac{D - d}{2},$$

де D — діаметр свердла, зенкера або розгортки, мм; d — діаметр оброблюваного отвору, мм.

Подача S . При свердлінні отворів без обмежуючих факторів призначають максимально доступну подачу за міцністю свердла (див. табл. 25). При розсвердлюванні отворів рекомендована для свердління подача може бути збільшена у 2 рази.

Таблиця 25

Подачі (мм/об) при свердлінні сталі, чавуну, мідних й алюмінієвих сплавів свердлами зі швидкорізальної сталі

Діаметр свердла D , мм	Сталь				Сірий та кований чавун, мідні й алюмінієві сплави	
	$HB < 160$	$HB 160-240$	$HB 240-300$	$HB > 300$	$HB \leq 170$	$HB > 170$
	Подача S , мм/об					
2–4	0,09–0,13	0,08–0,10	0,06–0,07	0,04–0,06	0,12–0,18	0,09–0,12
4–6	0,13–0,19	0,10–0,15	0,07–0,11	0,06–0,09	0,18–0,27	0,12–0,18
6–8	0,19–0,26	0,15–0,20	0,11–0,14	0,09–0,12	0,27–0,36	0,18–0,24
8–10	0,26–0,32	0,20–0,25	0,14–0,17	0,12–0,15	0,36–0,45	0,24–0,31
10–12	0,32–0,36	0,25–0,28	0,17–0,20	0,15–0,17	0,45–0,55	0,31–0,35
12–16	0,36–0,43	0,28–0,33	0,20–0,23	0,17–0,20	0,55–0,66	0,35–0,41
16–20	0,43–0,49	0,33–0,38	0,23–0,27	0,20–0,23	0,66–0,76	0,41–0,47
20–25	0,49–0,58	0,38–0,43	0,27–0,32	0,23–0,26	0,76–0,89	0,47–0,54
25–30	0,58–0,62	0,43–0,48	0,32–0,35	0,26–0,29	0,89–0,96	0,54–0,60
30–40	0,62–0,78	0,48–0,58	0,35–0,42	0,29–0,35	0,96–1,19	0,60–0,71
40–50	0,78–0,89	0,58–0,66	0,42–0,48	0,35–0,40	1,19–1,36	0,71–0,81

Примітка.

Наведені подачі застосовують при свердлінні отворів глибиною $l \leq 3D$

з точністю не вище 12-го квалітету в умовах жорсткої технологічної системи. У протилежному випадку вводять наступні поправкові коефіцієнти:

1) на глибину отвору: $K_{l_s} = 0,9$ при $l \leq 5D$; $K_{l_s} = 0,8$ при $l \leq 7D$; $K_{l_s} = 0,75$ при $l \leq 10D$;

2) на досягнення більш високої якості отвору у зв'язку з наступною операцією розгортання або нарізання різьби: $K_{O_s} = 0,5$;

3) на недостатню жорсткість системи ВПІД: при середній жорсткості $K_{ж_s} = 0,75$; при малій жорсткості $K_{ж_s} = 0,5$;

4) на матеріал інструмента: $K_{i_s} = 0,6$ для свердел із різальною частиною із твердого сплаву.

За наявності обмежуючих факторів при свердлінні та розсвердлюванні подачі однакові: їх визначають множенням табличного значення подачі на відповідний поправковий коефіцієнт, наведений у примітці до табл. 25.

Подачі, що призначають при зенкеруванні, наведені у табл. 26, а при розгортанні — у табл. 27.

Таблиця 26

Подачі (мм/об) при обробці отворів інструментом із швидкорізальної сталі та твердого сплаву

Оброблюваний матеріал	Діаметр зенкера D , мм								
	<15	15–20	20–25	25–30	30–35	35–40	40–50	50–60	60–80
	Подача S , мм/об								
Сталь	0,5–0,6	0,6–0,7	0,7–0,9	0,8–1,0	0,9–1,1	0,9–1,2	1,0–1,3	1,1–1,3	1,2–1,5
Чавун з $HB \leq 200$ та мідні сплави	0,7–0,9	0,9–1,1	1,0–1,2	1,1–1,3	1,2–1,5	1,4–1,7	1,6–2,0	1,8–2,2	2,0–2,4
Чавун з $HB > 200$	0,5–0,6	0,6–0,7	0,7–0,8	0,8–0,9	0,9–1,1	1,0–1,2	1,2–1,4	1,3–1,5	1,4–1,5

Примітки:

1) наведені значення подач застосовують для обробки отворів із допуском не вище 12-го квалітету. Для досягнення більш високої точності (9–11 квалітетів), а також при підготуванні отворів для наступної обробки розгорткою або для нарізання різьби мітчиком вводять поправковий коефіцієнт $K_{O_s} = 0,7$;

2) при зенкеруванні глухих отворів подача не повинна перевищувати 0,3–0,6 мм/об.

Таблиця 27

**Подачі (мм/об) при попередньому (чорновому) розгортанні
отворів розгортками зі швидкорізальної сталі**

Оброб- люваний матеріал	Діаметр розгортки D , мм									
	<10	10–15	15–20	20–25	25–30	30–35	35–40	40–50	50–60	60–80
	Подача S , мм/об									
Сталь	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	2,0
Чавун з $HB \leq 200$ та мідні сплави	2,2	2,4	2,6	2,7	3,1	3,2	3,4	3,8	4,3	5,0
Чавун з $HB > 200$	1,7	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	2,7	3,1	3,4	3,8

Примітки:

1) подачу слід зменшити:

— множенням на коефіцієнт $K_{O_S} = 0,8$ при чистовому розгортанні в один прохід із точністю, що відповідає 9–11-му квалітетам і параметрові шорсткості поверхні $Ra = 3,2–6,3$ мкм або при розгортанні для наступного полірування й хонінгування;

— множенням на коефіцієнт $K_{O_S} = 0,7$ при чистовому розгортанні після чорнового з точністю за 7-им квалітетом і параметром шорсткості поверхні $Ra = 0,4–0,8$ мкм ;

— множенням на коефіцієнт $K_{i_S} = 0,7$ при твердосплавній робочій частині інструмента;

2) при розгортанні глухих отворів подача не повинна перевищувати 0,2–0,5 мм/об.

Швидкість різання V . При свердлінні швидкість різання (м/хв) становить:

$$V = \frac{C_V D^q}{T^m S^Y} K_V,$$

а при розсвердлюванні, зенкеруванні, розгортанні:

$$V = \frac{C_V D^q}{T^m t^X S^Y} K_V$$

Значення коефіцієнта C_V і показників степенів наведені для свердління у табл. 28, для розсвердлювання, зенкерування та розгортання у табл. 29.

Значення періоду стійкості T див. у табл. 30.

Коефіцієнт C_v та показники степенів у формулі для швидкості різання при свердлінні

Оброблюваний матеріал	Матеріал різальної частини інструмента	Подача S , мм/об	Коефіцієнт і показники степенів				Охолодження
			C_v	q	Y	m	
Сталь вуглецева конструкційна з $\sigma_B=750$ МПа	Р6М5	$\leq 0,2$	7,0	0,40	0,70	0,20	€
		$>0,2$	9,8		0,50		
—		3,5	0,50	0,45	0,12		
$\leq 0,3$		14,7	0,25	0,55	0,125		
$>0,3$		17,1		0,40			
Чавун сірий з HB 190	ВК8	—	34,2	0,45	0,30	0,20	немає
	Р6М5	$\leq 0,3$	21,8	0,25	0,55	0,125	€
$>0,3$		25,3	0,40				
Чавун ковкий з HB 150	ВК8	—	40,4	0,45	0,30	0,20	немає
		Мідні гетерогенні сплави середньої твердості, HB 100–140	$\leq 0,3$	28,1	0,25	0,55	0,125
$>0,3$	32,6		0,40				
Силуміни та ливарні алюмінієві сплави з $\sigma_B=100\text{--}200$ МПа, $HB\leq 65$; дюралюміній з $HB\leq 100$	Р6М5	$\leq 0,3$	36,3	0,25	0,55	0,125	
		$>0,3$	40,7		0,40		

Примітка.

Значення швидкості різання, що розраховані за наведеними даними, дійсні для свердел із швидкорізальної сталі при їх подвійному заточуванні та підточуванні перемички. При одинарному заточуванні свердел із швидкорізальної сталі розраховану швидкість різання слід знизити множенням на коефіцієнт $K_{zy} = 0,75$.

Коефіцієнт C_V та показники степенів у формулі для швидкості різання при розсвердлюванні, зенкеруванні й розгортанні

Оброблюваний матеріал	Вид обробки	Матеріал різальної частини інструмента	Коефіцієнт і показники степенів				Охолодження
			C_V	q	X	Y	m
Сталь конструкційна вуглецевиста, $\sigma_B=750$ МПа	розсвердлювання	P6M5	16,2	0,4	0,2	0,5	0,2
	зенкерування	BK8	10,8	0,6		0,3	0,25
		P6M5	16,3	0,3		0,5	0,3
		T15K6	18,0	0,6		0,3	0,25
Сталь конструкційна загартована, $\sigma_B=1600-1800$ МПа, $HRC\ 49-54$	розгортання	P6M5	10,5	0,3	0,2	0,65	0,4
	зенкерування	T15K6	100,6	0,3	0	0,65	0,4
		T15K6	10,0	0,6	0,3	0,6	0,45
	розгортання	T15K6	14,0	0,4	0,75	1,05	0,85
	розсвердлювання	P6M5	23,4	0,25	0,1	0,4	0,125
		BK8	56,9	0,5	0,15	0,45	0,4
Чавун сірий, $HB\ 190$	зенкерування	P6M5	18,8	0,2	0,1	0,4	0,125
		BK8	105,0	0,4	0,15	0,45	0,4
	розгортання	P6M5	15,6	0,2	0,1	0,5	0,3
		BK8	109,0	0,2	0	0,5	0,45
	розсвердлювання	P6M5	34,7	0,25	0,1	0,4	0,125
		BK8	77,4	0,5	0,15	0,45	0,4
Чавун ковкий, $HB\ 150$	зенкерування	P6M5	27,9	0,2	0,1	0,4	0,125
		BK8	143,0	0,4	0,15	0,45	0,4
	розгортання	P6M5	23,2	0,2	0,1	0,5	0,3
		BK8	148,0	0,2	0	0,5	0,45

Середні значення періоду стійкості свердел, зенкерів та розгорткок

Інструмент (операція)	Оброблюваний матеріал	Матеріал різальної частини	Діаметр різального інструмента D , мм									
			до 5	6–10	11–20	21–30	31–40	41–50	51–60	61–80	Період стійкості різального інструмента T , хв	
Свердло (свердління та розсвердлювання)	сталь конструкційна вуглецева та легована	швидкорізкальна сталь	15	25	45	50	70	90	110	—		
		твердий сплав	8	15	20	25	35	45	—	—		
	сталь корозійностійка	швидкорізкальна сталь	6	8	15	25	—	—	—	—		
Свердло (свердління та розсвердлювання)	чавун сірий і ковкий, мідні та алюмінієві сплави	швидкорізкальна сталь	20	35	60	75	105	140	170	—		
		твердий сплав	15	25	45	50	70	90	—	—		
Зенкер (зенкерування)	сталь конструкційна вуглецева та легована, чавун сірий і ковкий	швидкорізкальна сталь та тверді сплави	—	—	30	40	50	60	80	100		
		швидкорізкальна сталь	—	25	40	80	80	120	120	120		
Розгортка (розгортання)	сталь конструкційна вуглецева та легована	твердий сплав	—	20	30	50	70	90	110	140		
		швидкорізкальна сталь	—	—	60	120	120	180	180	180		
	чавун сірий і ковкий	твердий сплав	—	—	40	75	105	135	165	210		

Загальний поправковий коефіцієнт на швидкість різання K_V , що враховує фактичні умови різання, становить:

$$K_V = K_{m_V} K_{i_V} K_{l_V},$$

де K_{m_V} — коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу та вплив його фізико-механічних властивостей на швидкість різання (табл. 3—6); K_{i_V} — коефіцієнт, що враховує властивості матеріалу інструмента (табл. 8); K_{l_V} — коефіцієнт, що враховує глибину свердління (табл. 31). При розсвердлюванні та зенкеруванні литих або штампованих отворів додатково вводять поправковий коефіцієнт K_{n_V} , що враховує стан поверхні заготовки (табл. 7).

Таблиця 31

Поправковий коефіцієнт K_{l_V} на швидкість різання, що враховує глибину обробки

Параметр	Операція					
	свердління					розсвердлювання, зенкерування, розгортання
Глибина оброблюваного отвору	3D	4D	5D	6D	8D	—
Коефіцієнт K_{l_v}	1,00	0,85	0,75	0,70	0,60	1,00

Крутний момент $M_{кр}$ (Н·м) та осьова сила P_o (Н) розраховуються за формулами:

— при свердлінні

$$M_{кр} = 10 C_M D^q S^Y K_P,$$

$$P_o = 10 C_P D^q S^Y K_P;$$

— при розсвердлюванні та зенкеруванні

$$M_{кр} = 10 C_M D^q t^X S^Y K_P,$$

$$P_o = 10 C_P t^X S^Y K_P.$$

Значення коефіцієнтів C_M , C_P і показників степенів наведені в табл. 32.

Коефіцієнт, що враховує фактичні умови обробки у цьому випадку залежить тільки від матеріалу оброблюваної заготовки, тобто

$$K_P = K_{m_P}.$$

Значення коефіцієнта K_{m_P} для сталі та чавуну наведені в табл. 11, а для мідних і алюмінієвих сплавів — у табл. 12.

Коефіцієнти й показники степенів у формулах для крутного моменту та осьової сили

Оброблюваний матеріал	Найменування операції	Матеріал різальної частини інструмента	Коефіцієнт та показники степенів у формулах для крутного моменту						для осьової сили		
			C_M	q	X	Y	C_P	q	X	Y	Y
Сталь конструкційна вуглецева, $\sigma_B = 750$ МПа	свердління	швидкорі- зальна сталь	0,0345	2,0	—	0,8	68	1,0	—	—	0,7
	розсвердлювання й зенкерування		0,09	1,0	0,9	0,8	67	—	—	1,2	0,65
Сталь жароміцна 12X18H9T, HB141	свердління	швидкорі- зальна сталь	0,041	2,0	—	0,7	143	1,0	—	—	0,7
	розсвердлювання й зенкерування		0,106	1,0	0,9	0,8	140	—	—	1,2	0,65
Чавун сірий, HB190	свердління	твердий сплав	0,012	2,2	—	0,8	42	1,2	—	—	0,75
	розсвердлювання й зенкерування		0,196	0,85	0,8	0,7	46	—	—	1,0	0,4
	свердління	швидкорі- зальна сталь	0,021	2,0	—	0,8	42,7	1,0	—	—	0,8
	розсвердлювання й зенкерування		0,085	—	0,75	0,8	23,5	—	—	1,2	0,4
Чавун ковкий, HB150	свердління	твердий сплав	0,021	2,0	—	0,8	43,3	1,0	—	—	0,8
	розсвердлювання й зенкерування		0,01	2,2	—	0,8	32,8	1,2	—	—	0,75
Гетерогенні мідні сплави середньої твердості, HB120	свердління	швидкорі- зальна сталь	0,17	0,85	0,8	0,7	38	—	—	1,0	0,4
	розсвердлювання й зенкерування		0,012	2,0	—	0,8	31,5	1,0	—	—	0,8
Силуміні та дюралюміній	свердління	швидкорі- зальна сталь	0,031	0,85	—	0,8	17,2	—	—	1,0	0,4
	свердління		0,005	2,0	—	0,8	9,8	1,0	—	—	0,7

Примітка.

Значення осьової сили при свердлінні, яке розраховане за формулою, дійсне для свердел із підточеною перемичкою. Для свердел із невідточеною перемичкою осьова сила при свердлінні зростає в 1,33 раза.

Якщо при розгортанні розглядати кожний зуб різального інструмента як розточувальний різець, то значення крутного моменту (Н·м) можна дістати зі співвідношення:

$$M_{кр} = \frac{C_p t^X S_z^Y D}{2 \cdot 100},$$

де t — глибина різання, мм; S_z — подача на один зуб інструмента, мм/зуб; D — діаметр інструмента, мм. Значення коефіцієнта C_p та показників степенів X , Y див. у табл. 23.

Подача на один зуб інструмента (рис. 4.3) визначається за формулою:

$$S_z = \frac{S}{Z},$$

де S — подача, мм/об, Z — кількість зубів розгортки.

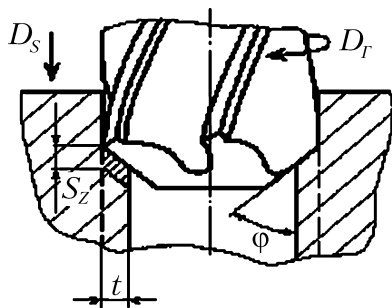


Рис. 4.3. Елементи режиму різання та рухи при зенкеруванні й розгортанні:

t — глибина різання; S_z — подача на один зуб інструмента;
 ϕ — головний кут в плані; D_r — головний рух; D_s — рух подачі

Ефективна потужність різання N_e (кВт), розраховується зі співвідношення:

$$N_e = \frac{M_{кр} n}{9750},$$

де n — частота обертання інструмента або заготовки, об/хв.

$$n = \frac{1000 V}{\pi D}.$$

Основний технологічний час T_o (хв) обчислюється за формулами, що наведені в табл. 55.

Розділ 5

ФРЕЗЕРУВАННЯ

Фрезерування є досить поширеним видом механічної обробки. У більшості випадків така обробка застосовується для плоских або фасонних поверхонь. Процес різання здійснюється багатолезовими інструментами—фрезами. Фреза має форму тіла обертання, різальні леза розташовуються на циліндричній або торцевій поверхні. Залежно від положення різальної частини фрези їх називають циліндричними або торцевими, а виконване ними фрезерування—циліндричним або торцевим.

Головний рух надається фрезі, рух подачі, у більшості випадків,—оброблюваній заготовці, але може надаватися й фрезі. Найчастіше рух подачі є поступальним, але може бути обертальним або складним.

Процес фрезерування відрізняється від інших процесів різання тим, що кожний зуб за один оберт фрези перебуває в роботі відносно малий час, більшу частину оберту він не виконує різання. Це сприяє підвищенню стійкості фрез. Іншою відзнакою процесу фрезерування є те, що кожний зуб фрези зрізує шар матеріалу змінної товщини.

Фрезерування може виконуватись двома способами—проти напрямку подачі й у напрямку подачі. Перший спосіб називають зустрічним фрезеруванням, другий—попутним. Кожний з цих способів має свої переваги й недоліки.

Зустрічне фрезерування є основним. Попутне фрезерування доцільно виконувати для обробки заготовок без кірки, а також при обробці матеріалів, схильних до сильного поверхневого наклепу під час обробки, тобто зміцнення при пластичному деформуванні. Під час обробки таких матеріалів зустрічним фрезеруванням зуб фрези, врізаючись у матеріал, досить значний шлях проходить по сильно наклепаному шару. Це суттєво зменшує стійкість інструмента і значно інтенсифікує процеси його зношування.

При обробці торцевими або кінцевими фрезами розрізняють симетричне й несиметричне різання. При симетричному різанні вісь фрези збігається із площиною симетрії оброблюваної поверхні, а при несиметричному не збігається.

Тип фрези визначається конфігурацією оброблюваної поверхні та видом устаткування, що застосовується, а її розміри визначаються розмірами оброблюваної поверхні та глибиною зрізаного шару. Для ско-

рочення основного технологічного часу й витрачання інструментально-го матеріалу діаметр фрези вибирають якомога меншим. При цьому враховують жорсткість технологічної системи ВПІД, схему різання та розміри оброблюваної заготовки.

5.1. ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ ФРЕЗ

Фрези належать до групи інструментів різноманітних за кон-струкцією, формою і розмірами. Вони використовуються на фрезерних верстатах загального і спеціального призначення для виконання таких робіт:

- чорнова й чистова обробка площин;
- прорізання пазів і шпонкових канавок;
- прорізання вузьких щілин і розрізання металу;
- чорнова й чистова обробка фасонних поверхонь з прямими і криволінійними твірними.

До простого типу належить циліндрична фреза, яка являє собою циліндричне тіло довжиною B і діаметром D з гвинтовими канавками для сходу стружки, прорізаними на твірній поверхні, і зубами, що утво-рюють різальні кромки. Циліндрична фреза завдяки центральному отво-ру діаметром d , в якому наявний шпоночний паз, насаджується на оп-равку й утримується за допомогою шпонки (рис. 5.1).

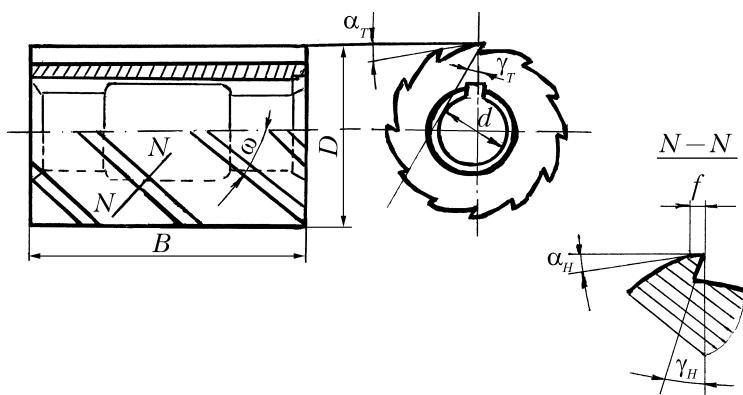


Рис. 5.1. Геометричні елементи різальної частини фрези

Гвинтова форма різальних зубів косозубої циліндричної фрези забезпечує їм плавність навантаження, а при роботі дозволяє уникати ударів і зменшує вібрацію. Нахил зуба визначається кутom ω між віссю

фрези і дотичної до гвинтової лінії. Характерним параметром косозубої циліндричної фрези є осьовий крок H_0 гвинтової лінії. Крім того, у фрез такої конструкції розрізняють торцевий крок H_T і нормальний крок H_H :

$$H_0 = \frac{\pi D}{Z} \operatorname{ctg} \omega, H_T = \frac{\pi D}{Z}, H_H = H_T \cos \omega,$$

де Z — кількість зубців фрези.

У поперечній площині й у нормальній, що проходить перпендикулярно головній різальній кромці різальної частини циліндричних косозубих фрез, виділяють передні й задні кути (див. рис. 5.1). Так, у головній січній площині $N-N$ маємо головний передній кут γ_H і головний задній кут α_H , у поперечній площині — торцевий передній кут γ_T і торцевий задній кут α_T .

Головний передній кут можна зайти за формулою

$$\operatorname{tg} \gamma_H = \gamma_T \cos \omega.$$

Кут різання фрези в головній січній площині

$$\delta_H = 90^\circ - \gamma_H.$$

Плавність роботи фрези залежить від глибини різання, діаметра фрези й числа зубів. У першу чергу вона визначається величиною кута контакту фрези з оброблюваною заготовкою. Кутом контакту δ називається центральний кут, що відповідає довжині дуги контакту фрези з оброблюваною заготовкою (рис. 5.2).

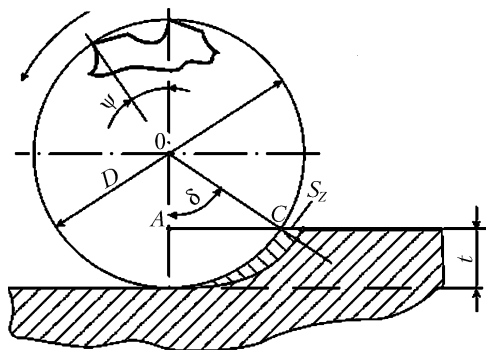


Рис. 5.2. Схема розрахунку кута контакту фрези δ

Знайдемо кут контакту:

$$\cos \delta = \frac{0A}{0C}, 0A = \frac{D}{2} - t, 0C = \frac{D}{2}, \text{ тоді } \delta = \arccos \left(1 - \frac{2t}{D} \right).$$

Для забезпечення плавності роботи фрези кількість одночасно працюючих зубів має бути не менше двох, тоді якщо

$$\psi = \frac{360^\circ}{Z}, Z_e = \frac{\delta}{\psi}, \text{ то } Z_e = \frac{\delta Z}{360^\circ} \geq 2,$$

де ψ – кут між зубами фрези; Z – загальна кількість зубів фрези; Z_e – кількість одночасно працюючих зубів.

5.2. ПРИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ

Для досягнення найбільш продуктивних режимів різання при торцевому фрезеруванні діаметр фрези D повинен бути більшим ширини фрезерування B на 25 – 50%, тобто

$$D = (1,25 - 1,5)B.$$

Під час обробки сталевих заготовок обов'язковим є їх несиметричне розташування відносно фрези, а саме:

- для заготовок із конструкційних вуглецевистих і легованих сталей зміщенням заготовки в напрямку врізання зуба фрези забезпечується початок процесу різання при малій товщині зрізуваного шару;

- для заготовок із жароміцних та корозійностійких сталей зміщенням заготовки у напрямку виходу зуба фрези із зони різання забезпечується вихід зуба з мінімально можливою товщиною зрізуваного шару.

Недотримання зазначених правил призводить до значного зниження стійкості інструмента.

Глибина фрезерування t та ширина фрезерування B – це параметри, які зв'язані з розмірами зрізуваного шару матеріалу під час фрезерування.

При всіх видах фрезерування, за винятком торцевого, глибина фрезерування визначає тривалість контакту зуба фрези із заготовкою, її вимірюють у напрямку, перпендикулярному осі фрези. Глибину фрезерування вибирають так само, як і глибину різання при точінні залежно від величини припуску. Для зниження машинного часу необхідно видаляти припуск за мінімальну кількість проходів.

Ширина фрезерування визначає довжину леза зуба фрези, яка бере участь безпосередньо у процесі різання, її вимірюють у напрямку, паралельному осі фрези. При торцевому фрезеруванні зазначені параметри міняються місцями.

Подача. При фрезеруванні розрізняють подачу на один зуб фрези S_z (мм/зуб), подачу на один оберт фрези S (мм/об), а також хви-

лину подачу $S_{xв}$ (мм/хв), які зв'язані між собою таким співвідношенням:

$$S_{xв} = Sn = S_z Z n,$$

де n — частота обертання фрези, об/хв; Z — кількість зубів фрези.

Вихідною величиною подачі при чорновому фрезеруванні є її значення на один зуб фрези S_z , а при чистовому — на один оберт фрези S , за яким для подальшого використання розраховують величину подачі на один зуб

$$S_z = \frac{S}{Z}.$$

Рекомендовані подачі для різних фрез та умов різання наведені в табл. 33–38.

Таблиця 33

Подачі при чорновому фрезеруванні торцевими, циліндричними та дисковими фрезами з пластинками із твердого сплаву

Оброблюваний матеріал	Пластинки з твердого сплаву	Потужність верстата, кВт	Подача S_z , мм/зуб
Сталь	T15K6	5–10	0,09–0,18
		понад 10	0,12–0,18
	T15K10	5–10	0,12–0,18
		понад 10	0,16–0,24
Чавун та мідні сплави	BK6	5–10	0,14–0,24
		понад 10	0,18–0,28
	BK8	5–10	0,20–0,29
		понад 10	0,25–0,38

Примітки:

1) для циліндричних фрез значення подач, що наведені в таблиці, дійсні для ширини фрезерування $B \leq 30$ мм; якщо $B > 30$ мм, їх слід зменшити на 30%;

2) для дискових фрез значення подач, що наведені в таблиці, дійсні при фрезеруванні площин та уступів, а при фрезеруванні пазів їх слід зменшити у 2 рази;

3) при фрезеруванні з подачами, наведеними у таблиці, досягається параметр шорсткості $Ra = 0,8–1,6$ мкм.

Таблиця 34

Подачі при чорновому фрезеруванні торцевими, циліндричними та дисковими фрезами зі швидкорізальної сталі

Потужність верстата або фрезерної головки, кВт	Жорсткість системи «заготовка–пристрій»	Подача S_z , мм/зуб при обробці			
		торцевими та дисковими фрезами		циліндричними фрезами	
		конструкційної сталі	чавуну та мідних сплавів	конструкційної сталі	чавуну та мідних сплавів
Фрези з великим зубом і фрези із вставними ножами					
Понад 10	підвищена	0,20–0,30	0,40–0,60	0,40–0,60	0,60–0,80
	середня	0,15–0,25	0,30–0,50	0,30–0,40	0,40–0,60
	знижена	0,10–0,15	0,20–0,30	0,20–0,30	0,25–0,40
5–10	підвищена	0,12–0,20	0,30–0,50	0,25–0,40	0,30–0,50
	середня	0,08–0,15	0,20–0,40	0,12–0,20	0,20–0,30
	знижена	0,06–0,10	0,15–0,25	0,10–0,15	0,12–0,20
До 5	середня	0,06–0,07	0,15–0,30	0,08–0,12	0,10–0,18
	знижена	0,04–0,06	0,10–0,20	0,06–0,10	0,08–0,15
Фрези з дрібним зубом					
5–10	підвищена	0,08–0,12	0,20–0,35	0,10–0,15	0,12–0,20
	середня	0,06–0,10	0,15–0,30	0,06–0,10	0,10–0,15
	знижена	0,04–0,08	0,10–0,20	0,06–0,08	0,08–0,12
До 5	середня	0,04–0,06	0,12–0,20	0,05–0,08	0,06–0,12
	знижена	0,03–0,05	0,08–0,15	0,03–0,06	0,05–0,10

Примітки:

1) більші подачі, із наведених у таблиці, слід вибирати для менших значень глибини та ширини фрезерування, а менші подачі — для більших значень;

2) при фрезеруванні жароміцних та корозійностійких сталей значення подач слід вибирати такі самі, як для конструкційної сталі, але не більше 0,3 мм/зуб.

Подачі при фрезеруванні сталевих заготовок різними фрезами зі швидкорізальної сталі

Діаметр фрези D , мм	Фрези	Подача S_z , мм/зуб при глибині фрезерування t , мм				
		3	5	6	8	10
16	кінцеві	0,08–0,05	0,06–0,05	—	—	—
20		0,10–0,06	0,07–0,04	—	—	—
25		0,12–0,07	0,09–0,05	0,08–0,04	—	—
35		0,16–0,10	0,12–0,07	0,10–0,05	—	—
40	кутові та фасонні	0,08–0,04	0,07–0,05	0,06–0,04	—	—
	кінцеві	0,20–0,12	0,14–0,08	0,12–0,07	0,08–0,05	—
	кутові та фасонні	0,09–0,05	0,07–0,05	0,06–0,03	0,06–0,03	—
	прорізнi	0,009–0,005	0,007–0,003	0,01–0,007	—	—
50	кінцеві	0,25–0,15	0,15–0,10	0,13–0,08	0,10–0,07	—
	кутові та фасонні	0,10–0,06	0,08–0,05	0,07–0,04	0,06–0,03	—
	прорізнi	0,010–0,006	0,008–0,004	0,012–0,008	0,012–0,008	—
	кутові та фасонні	0,10–0,06	0,08–0,05	0,07–0,04	0,06–0,04	0,05–0,03
60	прорізнi	0,013–0,008	0,010–0,005	0,015–0,01	0,015–0,01	0,015–0,01
	відрізнi	—	—	0,025–0,015	0,022–0,012	0,02–0,01
	кутові та фасонні	0,12–0,08	0,10–0,06	0,09–0,05	0,07–0,05	0,06–0,04
	прорізнi	—	0,015–0,005	0,025–0,01	0,022–0,01	0,02–0,01
75	відрізнi	—	0,015–0,005	0,03–0,015	0,027–0,012	0,025–0,01
	кутові та фасонні	0,12–0,08	0,12–0,05	0,11–0,05	0,10–0,05	0,09–0,04
	прорізнi	—	—	0,03–0,02	0,028–0,016	0,027–0,015
	відрізнi	—	—	0,03–0,025	0,03–0,02	0,03–0,02
90	відрізнi	—	—	—	—	—
110		—	—	—	—	—

Примітки:

1) при фрезеруванні чавуну, мідних та алюмінієвих сплавів подачі можуть бути збільшені на 30–40%;

- 2) подачі наведені для фасонних фрез із випуклим, плавно окресленим профілем; подачі мають бути зменшені на 40% для фрез із різко окресленим або вигнутим профілем;
- 3) для прорізних та відрізних фрез із дрібним зубом подачі наведені для глибини фрезерування до 5 мм, для фрез із великим зубом – для глибини понад 5 мм.

Таблиця 36

Подачі при фрезеруванні твердосплавними кінцевими фрезами площин та уступів сталевих заготовок

Вид твердосплавних елементів	Діаметр фрези D , мм	Подача S_z , мм/зуб при глибині фрезерування t , мм					
		1–3	5	8	12	20	30
		Чорнове фрезерування					
Коронка	10–12	0,01–0,03	—	—	—	—	—
	14–16	0,02–0,06	0,02–0,04	—	—	—	—
	18–22	0,04–0,07	0,03–0,05	0,02–0,04	—	—	—
	20	0,06–0,10	0,05–0,08	0,03–0,05	—	—	—
Гвинтові пластини	25	0,08–0,12	0,06–0,10	0,05–0,10	0,05–0,08	—	—
	30	0,10–0,15	0,08–0,12	0,06–0,10	0,05–0,09	—	—
	40	0,10–0,18	0,08–0,13	0,06–0,11	0,05–0,10	0,04–0,07	—
	50	0,10–0,20	0,10–0,15	0,08–0,12	0,06–0,10	0,05–0,09	0,05–0,08
	60	0,12–0,20	0,10–0,16	0,10–0,12	0,08–0,12	0,06–0,10	0,06–0,10
		Діаметр фрези D , мм					
Чистове фрезерування		10–16	20–22	25–35			
Подача S , мм/об		0,02–0,06	0,06–0,12	0,12–0,24			
					40–60		
					0,30–0,60		

Примітки:

- 1) для чорнового фрезерування чавуну подачі, наведені для чорнового фрезерування сталі, можуть бути збільшені на 30–40%, а для чистового фрезерування чавуну величина подачі, рекомендована для чистового фрезерування сталі, не змінюється;

- 2) верхні межі подач для чорнового фрезерування застосовують при малій ширині фрезерування на верстатах високої жорсткості, нижні — при великій ширині фрезерування на верстатах недостатньої жорсткості;
 3) подачі, наведені для чистового фрезерування, забезпечують параметр шорсткості $Ra = 0,8 - 1,6$ мкм.

Таблиця 37

**Подачі при чистовому фрезеруванні площин та уступів
торцевими, дисковими й циліндричними фрезами**

Параметр шорсткості поверхні Ra , мкм	Подача S , мм/об для обробки									
	торцевими та дисковими фрезами із вставними ножами		циліндричними фрезами зі швидкорізальної сталі							
	з твердого сплаву	зі швидкорізальної сталі	конструкційних вуглецевистих та легованих сталей		чавуну, мідних та алюмінієвих сплавів					
			при діаметрі фрези D , мм							
			40-75	90-130	150-200	40-75	90-130	150-200		
6,3	—	1,2-2,7	—	—	—	—	—	—	—	
3,2	0,5-1,0	0,5-1,2	1,0-2,7	1,7-3,8	2,3-5,0	1,0-2,3	1,4-3,0	1,9-3,7	—	
1,6	0,4-0,6	0,23-0,5	0,6-1,5	1,0-2,1	1,3-2,8	0,6-1,3	0,8-1,7	1,1-2,1	—	
0,8	0,2-0,3	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,4	0,15	—	—	—	—	—	—	—	—	

**Подачі при фрезеруванні сталевих заготовок шпонковими
фрезами зі швидкорізальної сталі**

Діаметр фрези D , мм	Тип верстата			
	Шпонково-фрезерний з маятниковою подачею (фрезерування частини від глибини шпонкового паза за один подвійний хід)	Вертикально-фрезерний (фрезерування за один прохід)		
		Осьове врізан- ня на глибину шпонкового паза	Поздовжня по- дача при фрезе- руванні шпон- кового паза	
	Глибина фрезеру- вання за один по- двійний хід t , мм	Подача S_z , мм/зуб		
6	0,3	0,10	0,006	0,020
8		0,12	0,007	0,022
10		0,16	0,008	0,024
12		0,18	0,009	0,026
16	0,4	0,25	0,010	0,028
18		0,28	0,011	0,030
20		0,31	0,011	0,032
24		0,38	0,012	0,036
28	0,5	0,45	0,014	0,037
32		0,50	0,015	0,037
36		0,55	0,016	0,038
40		0,65	0,016	0,038

Примітка

Подачі у таблиці наведені для конструкційної сталі з $\sigma_B \leq 750$ МПа;
для обробки більш міцних сталей подачі необхідно зменшити на 20—40%.

Швидкість різання V . Під швидкістю різання при фрезеруванні розуміють колову швидкість фрези у м/хв:

$$V = \frac{C_V D^q}{T^m t^X S_z^Y B^u Z^p} K_V.$$

Значення коефіцієнта C_V та показників степенів наведені в табл. 39, а середні значення періоду стійкості фрез T —у табл. 40.

Загальний поправковий коефіцієнт на швидкість різання, що враховує фактичні умови різання, є добутком ряду коефіцієнтів

$$K_V = K_{m_V} K_{n_V} K_{i_V},$$

де K_{m_V} —коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу (табл. 3—6); K_{n_V} —коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки (табл. 7); K_{i_V} —коефіцієнт, що враховує матеріал інструмента (табл. 8).

Коефіцієнт C_v та показники степенів у формулі для швидкості різання при фрезеруванні

Тип фрез	Матеріал різальної частини	Операція	Параметри зрізуваного шару			Коефіцієнт і показники степенів у формулі для швидкості різання						
			B, мм	t, мм	S _z , мм/зуб	C _v	q	X	Y	u	p	m
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Обробка конструкційної вуглецевої сталі, σ _B = 750 МПа												
Торцеві	T15K6*	Фрезерування площин	—	—	—	332	0,2	0,1	0,4	0,2	0	0,2
	P6M5**		—	—	≤0,1 >0,1	64,7 41	0,25	0,1	0,2 0,4	0,15	0	0,2
Циліндричні	≤35		≤2	—	390	0,17	0,19	0,28	−0,05	0,1	0,33	
	≤35		>2	—	443	0,17	0,38	0,28	−0,05	0,1	0,33	
	≤35		≤2	—	616	0,17	0,19	0,28	0,08	0,1	0,33	
	≤35		>2	—	700	0,17	0,38	0,28	0,08	0,1	0,33	
Дискові зі вставними ножами	P6M5**	—		—	≤0,1 >0,1	55 35,4	0,45	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0,33
	T15K6*	—		—	<0,12 ≥0,12	1340 740	0,2	0,4	0,12 0,4	0	0	0,35
		Фрезерування пазів		—	—	<0,06 ≥0,06	1825 690	0,2	0,3	0,12 0,4	0,1	0
	Дискові зі вставними ножами	P6M5**	Фрезерування площин, уступів і пазів	—	—	≤0,1 >0,1	75,5 48,5	0,25	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Дискові сучільні	R6M5**	Фрезерування площин, уступів і пазів	—	—	—	68,5	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
Кінцеві з коронками	T15K6*		—	—	—	145	0,44	0,24	0,26	0,1	0,13	0,37
Кінцеві з напаяними пластинами			—	—	—	234	0,44	0,24	0,26	0,1	0,13	0,37
Кінцеві сучільні			—	—	—	46,7	0,45	0,5	0,5	0,1	0,1	0,33
Прорізнi та вiдрiзнi	R6M5**	Прорiзнання пазiв та вiдрiзнання	—	—	—	53	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2
Фасоннi з вишуклим профiлем		Фасонне фрезерування	—	—	—	53	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
Кутовi та фа- соннi з вiгну- тим профiлем		Фрезерування кутових канавок та фасонне	—	—	—	44	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
Шпонковi двошп'рянi		Фрезерування шпонкових пазiв	—	—	—	12	0,3	0,3	0,25	0	0	0,26
		Обробка жаромiцнiї сталi 12X18H9T у станi поставки										
Торцевi	BK8*	Фрезерування площин	—	—	—	108	0,2	0,06	0,3	0,2	0	0,32
	Р6М5**		—	—	—	49,6	0,15	0,2	0,3	0,2	0,1	0,14
Цилiндричнi		Р6М5**	—	—	—	44	0,29	0,3	0,34	0,1	0,1	0,24
Кiнцевi	—		—	—	22,5	0,35	0,21	0,48	0,03	0,1	0,27	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Обробка сірого чавуну, HB 190													
Торцеві	ВК6*	Фрезерування площин	—	—	—	445	0,2	0,15	0,35	0,2	0	0,32	
	Р6М5**		—	—	—	42	0,2	0,1	0,4	0,1	0,1	0,15	
Циліндричні	ВК6*		—	<2,5	≤0,2	923	0,37	0,13	0,19	0,23	0,14	0,42	
					>0,2	588			0,47				
			—	≥2,5	≤0,2	1180	0,37	0,40	0,19	0,23	0,14	0,42	
					>0,2	750			0,47				
Дискові зі вставними ножами Дискові суцільні Кінцеві Прорізи та відрізи	Р6М5**		—	—	≤0,15	57,6	0,7	0,5	0,2	0,3	0,3	0,25	
			—	—	>0,15	27			0,6				
			—	—	—	85	0,2	0,5	0,4	0,1	0,1	0,15	
			—	—	—	72	0,2	0,5	0,4	0,1	0,1	0,15	
Прорізи та відрізи	Прорізування площин та уступів		—	—	—	72	0,7	0,5	0,2	0,3	0,3	0,25	
			—	—	—	30			0,2				0,5
Обробка ковкого чавуну, HB 150													
Торцеві	ВК6*	Фрезерування площин	—	—	≤0,18	994	0,22	0,17	0,1	0,22	0	0,33	
	Р6М5**		—	—	>0,18	695			0,32				
—			—	≤0,1	90,5	0,2	0,15	0,1	0,2				
—			—	>0,1	57,4					0,4			
Циліндричні			—	—	≤0,1	77	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33	
			—	—	>0,1	49,5			0,4				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Дискові зі вставними ножами	Р6М5**	Фрезерування площин, уступів і пазів	—	—	≤0,1	105,8	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	
					>0,1	68			0,4				
Дискові суцільні		—	—	—	—	95,8	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	
Кінцеві		Фрезерування площин та уступів	—	—	—	68,5	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33	
						74	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	
Прорізи та відрізи		Прорізання пазів та відрізання	—	—	—	—	74	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2
Обробка гетерогенних мідних сплавів середньої твердості, HB 100–140													
Торцеві		Р6М5**	Фрезерування площин	—	—	≤0,1	136	0,25	0,1	0,2	0,15	0,1	0,2
>0,1						86,2	0,4						
Циліндричні			—	—	—	≤0,1	115,5	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
	>0,1					74,3	0,4						
Дискові зі вставними ножами	Фрезерування площин, уступів і пазів		—	—	—	158,5	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	
Дискові суцільні						>0,1			102				0,4
Кінцеві	Фрезерування площин та уступів		—	—	—	144	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	
						103			0,2				0,1
Прорізи та відрізи	Прорізання пазів і відрізання	—	—	—	—	111,3	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Обробка силуміну, ливарних алюмінієвих сплавів: $\sigma_B=100-200\text{МПа}$, $HV<65$; дюралюмінію: $\sigma_B=300-400\text{МПа}$, $HV<100$													
Торцеві	Р6М5**	Фрезерування площин	—	—	$\leq 0,1$	245	0,25	0,1	0,2	0,15	0,1	0,2	
Циліндричні			—	—	$>0,1$	155			0,4				
Дискові зі вставними ножами		Фрезерування площин, уступів і пазів		—	—	$\leq 0,1$	208	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
						$>0,1$	133,5		0,4				
Дискові суцільні						$\leq 0,1$	285	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
						$>0,1$	183,4		0,4				
Кінцеві		Прорізи та відрізи	Фрезерування площин та уступів	—	—	—	259	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
Прорізи та відрізи			Прорізи та уступів	—	—	—	185,5	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
	Прорізи та відрізи		Прорізи та уступів	—	—	—	200	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2

* — без охолодження, ** — з охолодженням

Примітка

Значення швидкості різання для торцевих фрез, розраховане за наведеними табличними даними, дійсне при величині головного кута в плані $\phi = 60^\circ$. Для інших величин цього кута значення швидкості різання необхідно помножити на поправковий коефіцієнт 1,6 при $\phi = 15^\circ$; на 1,25 при $\phi = 30^\circ$; на 1,1 при $\phi = 45^\circ$; на 0,93 при $\phi = 75^\circ$; на 0,87 при $\phi = 90^\circ$.

Таблиця 40

Середнє значення періоду стійкості фрез

Фрези	Діаметр фрез D , мм											
	20	25	40	60	75	90	110	150	200	250	300	400
	Період стійкості фрез T , хв											
Торцеві	—		120	180					240	300	400	
Циліндричні зі вставними ножами і суцільні з великим зубом	—					180			240	—		
Циліндричні суцільні з дрібним зубом	—		120	180		—						
Дискові	—					120	150	180	240	—		
Кінцеві	80	90	120	180	—							
Прорізні та відрізні	—				60	75	120	150	—			
Фасонні та кутові	—		120			180	—					

Сила різання. Головна складова сили різання при фрезеруванні — це колова сила P_z , Н, яка визначається за формулою:

$$P_z = \frac{10 C_p t^X S_z^Y B^n Z}{D^q n^w} K_{mp},$$

де Z — кількість зубів фрези; n — частота обертання фрези, об/хв.

Значення коефіцієнта C_p та показників степенів наведені в табл. 41, поправкового коефіцієнта на якість оброблюваного матеріалу K_{mp} для сталі й чавуну — в табл. 11, а для мідних та алюмінієвих сплавів — у табл. 12. Величини інших складових сили різання, а саме: горизонтальної (сили подачі) P_h , вертикальної P_v , радіальної P_y , осьо-вої P_x визначають за відношенням до головної складової сили різання P_z (табл. 42).

Складова, за якою розраховують поправку на вигин, визначається співвідношенням:

$$P_{YZ} = \sqrt{P_y^2 + P_z^2}.$$

Крутний момент M_{kp} (Н·м) на шпинделі фрезерного верстата визначається із співвідношення

$$M_{kp} = \frac{P_z D}{2 \cdot 100},$$

де D — діаметр фрези, мм.

Таблиця 41

**Коефіцієнт C_p та показники степенів у формулі
для окружної сили P_z при фрезеруванні**

Фрези	Матеріал різальної частини інструмента	Коефіцієнт і показники степенів					
		C_p	X	Y	u	q	w
Обробка конструкційної вуглецевистої сталі, $\sigma_B=750$ МПа							
Торцеві	твердий сплав	825	1,0	0,75	1,1	1,3	0,2
	швидкорізальна сталь	82,5	0,95	0,8	1,1	1,1	0
Циліндричні	твердий сплав	101	0,88	0,75	1,0	0,87	0
	швидкорізальна сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0,86	0
Дискові, прорізні та відрізні	твердий сплав	261	0,9	0,8	1,1	1,1	0,1
	швидкорізальна сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0,86	0
Кінцеві	твердий сплав	12,5	0,85	0,75	1,0	0,73	-0,13
	швидкорізальна сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0,86	0
Фасонні та кутові	швидкорізальна сталь	47	0,86	0,72	0,1	0,86	0
Обробка жароміцної сталі 12Х18Н9Т у стані поставки, HB 141							
Торцеві	твердий сплав	218	0,92	0,78	1,0	1,15	0
Кінцеві	швидкорізальна сталь	82	0,75	0,6	1,0	0,86	0
Обробка сірого чавуну, HB 190							
Торцеві	твердий сплав	54,5	0,9	0,74	1,0	1,0	0
	швидкорізальна сталь	50	0,9	0,72	1,14	1,14	0
Циліндричні	твердий сплав	58	0,9	0,8	1,0	0,9	0
	швидкорізальна сталь	30	0,83	0,65	1,0	0,83	0
Дискові, кінцеві, прорізні та відрізні	швидкорізальна сталь	30	0,83	0,65	1,0	0,83	0
Торцеві	твердий сплав	491	1,0	0,75	1,1	1,3	0,2
	швидкорізальна сталь	50	0,95	0,8	1,1	1,1	0
Циліндричні, дискові, кінцеві, прорізні та відрізні	швидкорізальна сталь	30	0,86	0,72	1,0	0,86	0
Обробка гетерогенних мідних сплавів середньої твердості, HB 100–140							
Циліндричні, дискові, кінцеві, прорізні та відрізні	швидкорізальна сталь	22,6	0,86	0,72	1,0	0,86	0

Примітки:

1) колову силу P_z при фрезеруванні алюмінієвих сплавів розраховують так само, як і для сталей, з уведенням поправкового коефіцієнта 0,25;

2) значення колової сили P_z , розраховане за табличними даними, не враховує затуплення фрези; при затупленні фрези до допустимої величини зношення під час обробки м'якої сталі ($\sigma_B < 600$ МПа) сила P_z збільшується в 1,75–1,9 раза, в усіх інших випадках в 1,2–1,4 раза.

Таблиця 42

Відносні значення складових сили різання при фрезеруванні

Фрезерування	P_h/P_z	P_v/P_z	P_y/P_z	P_x/P_z
Фрези циліндричні, дискові, кінцеві *, кутові та фасонні				
Зустрічне (проти подачі)	1,1–1,2	0–0,25	0,4–0,6	$(0,2–0,4)tg\varphi$
Попутне (у напрямку подачі)	–(0,8–0,9)	0,7–0,9		
Фрези торцеві та кінцеві **				
Симетричне	0,3–0,4	0,85–0,95	0,3–0,4	0,5–0,55
Несиметричне (зустрічне)	0,6–0,8	0,6–0,7		
Несиметричне (попутне)	0,2–0,3	0,9–1,0		

* — фрези, що працюють за схемою циліндричного фрезерування, за якою торцеві зуби не беруть участі в процесі різання;

** — фрези, що працюють за схемою торцевого фрезерування.

Примітка.

Зміну складових P_z і P_x при торцевому фрезеруванні залежно від головного кута в плані φ див. у табл. 24.

Ефективна потужність різання N_e (кВт) при фрезеруванні визначається за формулою:

$$N_e = \frac{P_z V}{1020 \cdot 60}.$$

Основний технологічний час T_o (хв) обчислюється за формулами, що наведені в табл. 55.

Розділ 6

РОЗРІЗУВАННЯ

Розрізування матеріалів виконують відрізними різцями, дисковими та стрічковими пилками, ножівками й абразивними кругами.

Подача. При розрізуванні дисковими пилками використовують подачу S_z у мм/зуб. При розрізуванні стрічковими пилками й абразивними кругами використовують подачу $S_{xв}$ у мм/хв. Подачі для розрізування різних матеріалів наведені в табл. 43.

Таблиця 43

Подача при розрізуванні матеріалів стрічковими й дисковими пилками та абразивними кругами

Розрізуваний матеріал	Подача S_z , мм/зуб при розрізуванні дисковими пилками	Подача $S_{xв}$, мм/хв при розрізуванні	
		стрічковими пилками	абразивними кругами
Сталь, $\sigma_B < 400$ МПа	0,08–0,15	≤ 50	135–150
Сталь, $\sigma_B = 400–600$ МПа	0,05–0,11		
Сталь, $\sigma_B > 600$ МПа	0,04–0,07		
Чавун	0,08–0,20	≤ 90	
Бронза		≤ 110	
Латунь		≤ 140	

Примітки:

1) подачі для дискових пилок, наведені в таблиці, дійсні при відношенні $t/q = 10$, де t – розмір поперечного перерізу розрізуваної заготовки, який визначає довжину дуги контакту пилки й заготовки; q – круговий крок зубів пилки; при інших значеннях відношення t/q табличне значення подачі необхідно помножити на поправковий коефіцієнт K_q , а саме: при $t/q = 6$ на 1,5; при $t/q = 8$ на 1,25; при $t/q = 13$ на 0,3; при $t/q = 17$ на 0,6;

2) більші значення подач для дискових пилок відповідають обробці на верстатах більш високої потужності.

Швидкість різання V . При розрізуванні матеріалів дисковими та стрічковими пилками, а також приводними ножівками швидкість різання вимірюють у м/хв. Рекомендовані значення швидкості різання при розрізуванні різних матеріалів наведені в табл. 44. При розрізу-

ванні абразивними кругами швидкість різання вимірюють у м/с, зазвичай вона становить 50–70 м/с.

Таблиця 44

Швидкість різання при розрізуванні матеріалів дисковими та стрічковими пилками й ножівками

Розрізуваний матеріал	Швидкість різання V , м/хв				
	при розрізуванні дисковими пилками		при розрізуванні приводними ножівками		при розрізуванні стрічковими пилками
	зі швидко-різальної сталі	з вуглецевистої сталі	зі швидко-різальної сталі	з вуглецевистої сталі	
Конструкційна сталь: $\sigma_B < 400$ МПа $\sigma_B = 400$ –600 МПа $\sigma_B > 600$ МПа	26–30 18–26 16–22	18–20 16–18 12–16	38–42 25–36 12–21	28–30 20–25 10–15	16–20 10–15 6–12
Інструментальна сталь	11–14	8–10	12–14	9–10	4–8
Стальне лиття	14–18	10–16	—	—	—
Жароміцна й корозійностійка сталь	8–12	8–10	—	—	—
Сірий та ковкий чавун: $HB \leq 200$ $HB > 200$	10–12 12–13	8–9 8–9	18–28 12–14	15–20 9–10	9–12 5–8
Бронза: $\sigma_B \leq 300$ МПа $\sigma_B > 300$ МПа	100–200	60–160	25–28 18–21	18–20 14–15	15–30
Латунь	100–200	60–160	25–36	20–25	15–40

Основний технологічний час T_o (хв) обчислюється за формулами, що наведені в табл. 55.

Розділ 7

РІЗЬБОНАРІЗУВАННЯ

7.1. Види різьб і методи їх утворення

Залежно від призначення в машинобудуванні застосовують два **види різьб**: кріпильні — для взаємного з'єднання деталей; ходові — для забезпечення поступального руху деталей машин і механізмів. За видом профілю кріпильні різьби можна класифікувати як циліндричні й конічні. Конічні різьби зазвичай використовують при необхідності створення натягу в різьбовому з'єднанні. Найбільш застосовуваними є циліндричні кріпильні різьби з трикутним профілем. Якщо кут профілю таких різьб становить 60° , то їх називають метричними, а якщо 55° — дюймовими. За величиною кроку їх поділяють на різьби з великим і дрібним кроком. Ходові різьби виконують із прямокутним і трапецеїдальним профілем. Останні, крім того, можуть бути однозахідними і багатозахідними. За розташуванням на деталях різьба може бути зовнішньою та внутрішньою, а за способом її утворення — нарізаною (із зняттям стружки) та накатаною або видавленою (без зняття стружки).

До циліндричних **різьб спеціального призначення** можна віднести такі: трубна різьба, що являє собою дюймову різьбу з дрібним кроком та закругленими западинами; одно- й багатозахідні трапецеїдальні різьби для передачі руху; упорна різьба, використовувана в умовах значних динамічних навантажень і забруднень; годинникова різьба, зазвичай застосовувана в точному приладобудуванні у випадках, коли діаметр різьбового з'єднання не перебільшує 1 мм.

Нарізування різьб здійснюють на різьбонарізних, різьбофрезерних, різьбошліфувальних, токарних, револьверних, свердлильних, розточувальних верстатах і верстатах-автоматах. Утворення різьб за таким методом є складним процесом, тому що поряд із виконанням вимог до точності діаметральних розмірів, необхідно забезпечити і такі характеристики, як кут профілю, крок, шорсткість поверхні різьби.

Накатування різьб може бути виконане на спеціальних різьбонакатувальних верстатах, де обробним інструментом є накатувальні плашки чи ролики. Також накатування можна здійснювати спеціальними головками або іншим приладдям на металорізальних верстатах, пристосованих до цього. Такий метод найчастіше використовується для виготовлення кріпильних різьб в умовах масового виробництва, тому що його продуктивність у 15—25 разів вища, ніж при нарізуванні. До не-

доліків методу можна віднести наявність невеликої еліптичності при накатуванні циліндричної різьби та неможливість її утворення на заготовках будь-якої форми. Накатування є принципово відмінним від нарізування, тому що воно не супроводжується процесами зняття стружки, і в цьому посібнику докладно не розглядається.

Нарізування різьб на токарних верстатах. На токарних верстатах можна нарізувати як зовнішні, так і внутрішні різьби. Інструментом при нарізуванні зовнішніх різьб є різьбові різці, гребінки, плашки й різьбонарізні головки, а внутрішніх — мітчики, різьбові різці та гребінки. Для забезпечення високої точності профілю різьби, нарізаної різцем, необхідно додержуватись трьох умов: 1) різальні кромки чистового різця мають точно відповідати профілю різьби; 2) установка різця повинна виконуватись за шаблоном, який забезпечує положення різця перпендикулярно осі верстата, тому що в інших випадках різьба буде косою; 3) різальні кромки різця повинні бути в площині, яка проходить через вісь виробу, тому що в інших положеннях кромок різьба буде спотворюватись. Конструктивною особливістю різьбових різців є наявність гострого кута при вершині в плані. Тому при нарізуванні не допускаються великі навантаження й різьба утворюється за декілька проходів. Подача різця на врізання може здійснюватись у радіальному напрямку — з прямим врізанням, чи під кутом до осі виробу — з бічним врізанням.

Якщо подача на врізання виконується перпендикулярно осі виробу, то збільшуються питомі сили різання й при обробці деталей малої жорсткості виникають вібрації. Ці явища пояснюються тим, що в різанні беруть участь вершина різця й обидві кромки, які знаходяться в неоднакових умовах через різну величину кута різання: в однієї кромки кут різання менше 90° , у другої — більше 90° . Якщо подача на врізання здійснюється під кутом, який дорівнює половині кута профілю різьби, то основна робота різання здійснюється головною різальною кромкою, яка з напрямом подачі утворює кут, що дорівнює куту профілю різьби. Це приводить до зменшення питомого зусилля різання за рахунок збільшення співвідношення товщини зрізу й периметра різання. Отже, можливість появи вібрацій зменшується. У цьому випадку погіршується якість поверхні, оброблюваної допоміжною кромкою, яка майже не бере участь у різанні, але на поверхні деталі з'являються шкарубини й задири внаслідок тертя задньої грані. Застосування першого чи другого способу подачі при нарізуванні різьб зазвичай залежить від їх кроку. Якщо крок трикутних, трапецеїдальних чи прямокутних різьб не перевищує 2 мм, то подача різця здійснюється в радіальному напрямку. Трикутні різьби з

кроком понад 2 мм нарізуються з бічним врізанням при чорнових проходах та з прямим врізанням при чистових проходах.

Високі вимоги до заточування різців й збереження ними форми профілю протягом певного часу роботи зумовлюють необхідність застосування призматичних і круглих фасонних різбових різців. Задні грані таких різців відшліфовуються при виготовленні, тому заточенню підлягає тільки передня грань. Це значною мірою сприяє кращому збереженню профілю різби. З метою зменшення шорсткості різбових поверхонь рекомендується використовувати пружинні державки, що забезпечують підтискання в напрямку різання.

Різці, що мають декілька різальних зубів, називають гребінками. Для нарізування гострокутних різб використовуються призматичні й круглі гребінки. При їх застосуванні робота розподіляється між декількома зубами шляхом сточування вершин зубів від переднього краю гребінки до заднього, що забезпечує поступове збільшення глибини врізання. Нахил зубів має відповідати куту підйому нарізуваної різби. Зазвичай гребінки використовуються для нарізування різб із дрібним кроком у м'яких матеріалах. Переваги використання гребінок полягають у значному скороченні кількості проходів, а отже, й зменшенні основного технологічного часу. До основних недоліків, що обмежують використання гребінок, можна віднести такі: неможливість нарізування на заготовках, в яких різба доходить до виступу чи бурта, тому що частина різби матиме неповний профіль; непридатність для нарізування на крупних діаметрах через великі зусилля різання, можливість виникнення вібрацій і в кінці кінців отримання низької якості поверхні.

Процес нарізування різби як різцями, так і гребінками супроводжується деформаціями в оброблюваному матеріалі і збільшенням зовнішнього діаметра приблизно на 0,2—0,5 мм. Це враховується при нарізуванні точних різб на заготовках із в'язких і пластичних матеріалів шляхом зменшення чи збільшення діаметра проточування під різбу на величину, що становить 0,1—0,2 від її кроку.

Нарізування багатозахідних різб виконується на токарно-гвинторізних верстатах шляхом повороту заготовки на певну частину кола після нарізування однієї нитки різби. Такий поворот здійснюється за допомогою спеціального повідкового патрона з пазами, планшайби з поворотним диском і лімбом для відліку кута повороту, повертанням одного із змінних зубчастих коліс тощо. Нарізування прямокутних і трапецеїдальних різб, порівняно з нарізуванням трикутних, є більш складним процесом. Воно здійснюється декількома різцями, які поступово утворюють профіль різби.

Вихрове нарізування обертовими різцями (різцевими головками). Цей метод застосовується для одержання зовнішніх та внутрішніх різьб на спеціальних верстатах і звичайних токарних верстатах, обладнаних різцевою головкою замість супорта. Заготовка, на якій буде нарізана різьба, закріплюється в центрах або патроні верстата й обертається в процесі обробки з невеликою частотою 3—30 об/хв, таке обертання є рухом кругової подачі. Різцева головка розташовується ексцентрично відносно осі деталі й обертається від спеціального приводу з частотою 1000—3000 об/хв. Траєкторія обертання різців збігається з напрямком гвинтової лінії на середньому діаметрі нарізуваної різьби. При нарізанні зовнішньої різьби кожний різець переміщується по колу, діаметр якого більший від діаметра заготовки в 1,4—1,6 раза, а при нарізанні внутрішньої різьби діаметр кола переміщення різців становитиме 0,6—0,7 від діаметра нарізуваної різьби. При утворенні, як зовнішніх, так і внутрішніх різьб, вісь обертання різцевої головки повертають відносно осі обертання заготовки на кут підйому гвинтової лінії різьби. Різцевій головці, крім обертального руху, надають осьового переміщення, погодженого з обертанням заготовки таким чином, що за один оберт заготовки воно дорівнює кроку нарізуваної різьби. За один оберт різцевої головки кожний різець стикається із заготовкою й прорізає по дузі серпоподібну канавку, яка має форму профілю різьби. Завдяки тому, що різці виконують нарізання поперемінно, їх нагрівання є незначним і застосування мастильно-охолодної рідини буде недоцільним, а обробка виконується за один прохід.

Нарізування різьб плашками й різьбонарізними головками. Нарізування зовнішніх різьб малого й середнього діаметра здійснюється плашками й різьбонарізними головками на токарних, револьверних і болторізних верстатах, а також на токарно-револьверних автоматах. Недоліком плашок є низька точність нарізуваних різьб і мала продуктивність обробки через необхідність зворотного згвинчування після нарізання. Цей недолік значною мірою усувається при нарізанні різьб різьбонарізними головками, плашки яких після обробки автоматично розсовуються і швидко відводяться. Застосування різьбонарізних головок забезпечує вищу точність і в 3—4 рази більшу продуктивність обробки, порівняно з нарізуванням різьб плашками. Застосування мастильно-охолодної рідини є обов'язковим. Утворення різьби відбувається за один чи два проходи.

Нарізування різьб мітчиками. Для нарізування внутрішніх трикутних різьб у наскрізних або глухих отворах на токарних, свердильних, гайконарізних, одно- й багатопшпіндельних різьбонарізних верста-

тах використовуються мітчики. При використанні токарних і свердильних верстатів необхідно прагнути до того, щоб процес нарізання був одним із переходів операції обробки отвору. Нарізання мітчиками різьб малих діаметрів здійснюється порівняно легко. Різьби великих діаметрів зазвичай мають меншу точність, процес їх утворення характеризується більшими витратами часу, що не завжди є економічно доцільним. Швидкість різання при використанні мітчиків обмежується вимогами до точності обробки, а також твердістю оброблюваного матеріалу.

Для кріплення мітчиків застосовують спеціальні патрони, які бувають жорсткими, з компенсацією відхилень за кроком різьби та самоустановлювальними. Останні застосовують на револьверних і свердильних верстатах у випадках незначної розбіжності осей мітчика й отвору під різьбу. Якщо подача мітчика здійснюється примусово, то патрон має забезпечити компенсацію різниці між величиною подачі мітчика та кроком різьби. При нарізанні різьб у глухих отворах використовують реверсивні пристрої для своєчасного вигвинчування мітчика. Зазвичай для обробки необхідно від одного до трьох мітчиків, їх кількість залежить від вимог до точності, діаметра та довжини оброблюваної поверхні.

Також для утворення внутрішніх різьб широкого застосування набули різьбонарізні головки з розсувними плоскими плашками, які ще називають саморозкривними мітчиками. За їх допомогою здійснюється нарізування внутрішніх різьб на револьверних верстатах і напівавтоматах. Після закінчення обробки плашки автоматично зсуваються до купи. Це дозволяє вивести мітчик з отвору з меншою витратою часу порівняно з вигвинчуванням. У цьому разі за принципом дії вони мало чим відрізняються від різьбонарізних головок для нарізування зовнішніх різьб.

Фрезерування різьб. Така обробка може виконуватись дисковою або гребінчастою (груповою) фрезою на різьбофрезерних верстатах. Довгі й короткі різьби трикутного та трапецеїдального профілю нарізаються дисковими й гребінчастими фрезами на звичайних різьбофрезерних верстатах або напівавтоматах. Для нарізування коротких різьб на великогабаритних заготовках використовують планетарні різьбофрезерні верстати.

Дисковою фрезою можна фрезерувати зовнішні й внутрішні різьби різної довжини, в тому числі з великим кроком і великим профілем. Для внутрішніх різьб забезпечується якісніше нарізання за рахунок плавнішої роботи фрези завдяки більшій кількості одночасно працюючих зубів. Кількість проходів зазвичай не перевищує двох-трьох і залежить від розмірів різьби, заданої точності й шорсткості оброблюваної

поверхні. Профіль дискової фрези має цілком відповідати профілю нарізаної різьби. Проте, для запобігання підрізання різьби може здійснюватись коректування профілю фрези. У процесі нарізання фрези, крім обертання, надається поступальний рух уздовж осі обертання заготовки, причому переміщення за один оберт заготовки дорівнює кроку різьби. Поверхня різьби, утворена дисковою фрезою, буде шорсткою, тому що фрезерування характеризується переривчастим різанням й нерівномірним навантаженням на заготовку. За продуктивністю фрезерування поступається нарізуванню різьби різцями звичайним і вихровим способом, це пояснюється порівняно низькими режимами різання.

Фрезерування різьб гребінчастими фрезами застосовується для утворення коротких різьб із дрібним кроком. На відміну від дискової, гребінчаста фреза встановлюється не під кутом до осі заготовки, а паралельно їй. Довжина фрези зазвичай на 2—5 мм перевищує довжину нарізаної різьби. Усі витки різьби одержують одночасно за 1,2—1,3 оберти заготовки. Гребінчасті фрези використовують для нарізання зовнішніх різьб із кутом підйому середньої гвинтової лінії до 5° та внутрішніх—до 3° . При більших кутах відбувається спотворення форми бічної поверхні різьб.

Шліфування різьб. Шліфування застосовується для нарізання різьб підвищеної точності, а також для зменшення шорсткості поверхні й підвищення точності різьб, що утворені загартованим різьбонарізним інструментом. Шліфування виконується на різьбошліфувальних верстатах із застосуванням одно- й багатониткових шліфувальних кругів. Залежно від кроку різьб обробка може здійснюватись із безпосереднім утворенням різьбової поверхні або після її попереднього нарізання іншим методом. Різьби з кроком до 1,5 мм шліфуються без попереднього утворення профілю, а з кроком, більшим 1,5 мм—після попереднього нарізання одним із методів, зазначених вище.

Найбільш високу точність шліфування різьб забезпечує одонитковий круг. Різьби з кроком менше 1,5 мм шліфують із великою глибиною різання і малою коловою швидкістю обертання заготовки (0,2—0,7 м/хв) за один або декілька проходів. Більші різьби, навпаки, шліфуються з малою глибиною різання, великою коловою швидкістю (до 8 м/хв) за декілька проходів. Шліфування різьб багатонитковими кругами є більш продуктивним, але менш точним. Ще одним недоліком такої обробки є підрізання профілю різьб, що мають великий крок і кут підйому профілю. Тому цей спосіб застосовується тільки для чорнкової обробки коротких різьб, а чистове шліфування здійснюється одонитковим кругом. Ширина круга має бути на 2—3 витки більшою, ніж

довжина різьби. Кожний шліфувальний круг пристосований тільки для обробки різьб з однаковим кроком.

7.2. ПРИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ

Глибина різання t і подача S . При нарізанні різьби нарізними різцями повздовжня подача S дорівнює кроку різьби p . Поперечна подача визначає глибину різання t . Вона дорівнює висоті профілю різьби, що нарізається за один робочий хід, або частині висоти профілю, яка визначається кількістю робочих ходів, необхідних для остаточного утворення різьби. Загальну кількість робочих ходів призначають за табл. 45, 46.

Таблиця 45

Кількість робочих ходів при нарізанні різьби нарізними різцями з пластинками із твердого сплаву

Крок різьби <i>p</i> , мм	Сталь конструкційна вуглецевиста та легована*				Чавун**			
	Зовнішня різьба							
	метрична		трапецеїдальна		метрична		трапецеїдальна	
	Кількість робочих ходів***							
	I	II	I	II	I	II	I	II
1,5	3	2	—	—	—	2	4	3
2			—	2	5			
3			5	3				
4			6	4				
5			7	4			6	
6	8		5		7	4		
8	—	—	10	5	—		—	9
10			12	6		10		5
12			14			12		
16			18			14		

* — використовують нарізні різці з пластинками із твердого сплаву Т15К6;

** — використовують нарізні різці з пластинками із твердого сплаву ВК6;

*** — чорнові ходи — I, чистові ходи — II.

Примітки:

1) наведена кількість робочих ходів забезпечує нарізання метричної різьби середнього класу точності, для отримання більшої точності кількість чистових ходів необхідно збільшити;

2) при нарізанні внутрішньої метричної різьби кількість чорнових ходів, що наведені в таблиці для зовнішньої різьби, збільшують на один;

3) при нарізанні метричної різби по жароміцній сталі 12Х18Н9Т кількість ходів збільшують на 30%, а по загартованій сталі — у 2—3 рази.

Таблиця 46

Кількість робочих ходів при нарізанні метричної та трапецеїдальної різби різцями зі швидкорізальної сталі

Крок різби p , мм	Сталь конструкційна вуглецевиста		Сталь конструк- ційна легована та сталеві відливки		Чавун, бронза та латунь	
	Кількість робочих ходів*					
	I	II	I	II	I	II
Кріпильна метрична зовнішня однозахідна різба						
1,25–1,5	4	2	5	3	4	2
1,75	5	3	6	4	5	3
2,0–3,0	6		7			
3,5–4,5	7	4	9	5	6	
5,0–5,5	8		10			
6,0	9		12			
Трапецеїдальна зовнішня однозахідна різба						
4	10	7	12	8	8	6
6	12	9	14	10	9	7
8	14		17		11	
10	18	10	22	12	14	8
12	21		25		17	
16	28		33		22	
20	35		42		28	

* — чорнові ходи — I, чистові ходи — II.

Примітки:

1) наведена кількість робочих ходів забезпечує нарізання кріпильної метричної та трапецеїдальної різби середньої точності; для досягнення більш високої точності різби необхідно додатково додати 2—3 зачищувальних ходи при швидкості різання 4 м/хв;

2) при нарізанні багатозахідної різби кількість ходів, наведену в таблиці, збільшують на 1–2 ходи для кожного заходу різби;

3) при нарізанні внутрішньої різби кількість чорнових ходів збільшують на 20—25%; кількість чистових ходів збільшують на один для метричної різби та трапецеїдальної різби з кроком до 8 мм, і на два для трапецеїдальної різби з кроком понад 8 мм.

Якщо крок різби $p \leq 2,5$ мм, то поперечна подача S_p має радіальний напрямок і різба утворюється за профільною схемою. Якщо крок різби $p > 2,5$ мм, то чорнові ходи здійснюють за генераторною схемою з поперечною подачею S_ϕ , напрямок якої паралельний боковій поверхні

нарізованого профілю. Припуск e , що залишається на чистові ходи, зрізається за профільною схемою.

Подачі S_z на один різець при вихровому нарізанні різби різцями в обертових головках наведені в табл. 47, на один зуб гребінчастої фрези — в табл. 48, а на один зуб дискової фрези — у примітках до табл. 48. Мітчики, плашки та різбові головки працюють із самоподачею.

Таблиця 47

Подачі при вихровому нарізанні метричної і трапецеїдальної різби різцями з пластинами із твердого сплаву T15K6 на сталевих заготовках

Механічні властивості сталей		Подача на один різець S_z , мм/різець
межа міцності σ_B , МПа	твердість за Брінеллем HB	
550	153–161	1,0–1,2
650	179–192	0,8–1,0
750	210–220	0,6–0,8
850	235–250	0,4–0,6

Примітка

Більші значення подач призначають при нарізанні різби на жорстких заготовках, менші — на заготовках пониженої жорсткості.

Таблиця 48

Подачі на один зуб гребінчастої нарізної фрези

Діаметр нарізуваної різби D , мм	Крок нарізуваної різби p , мм	Подача на один зуб дискової фрези S_z , мм/зуб для обробки			
		сталей з $\sigma_B \leq 800$ МПа	сталей з $\sigma_B > 800$ МПа	сірого чавуну	ковкого чавуну
≤ 30	$< 1,0$	0,03–0,04	0,02–0,03	0,05–0,06	0,04–0,05
	1,0–2,0	0,04–0,05		0,06–0,07	0,05–0,06
	2,0–3,5	0,05–0,06	0,03–0,04	0,07–0,08	0,06–0,07
30–50	$< 1,0$	0,04–0,05		0,06–0,07	0,05–0,06
	1,0–2,0	0,05–0,06		0,07–0,08	0,06–0,07
	2,0–4,0	0,06–0,07	0,04–0,05	0,08–0,09	0,07–0,08
50–76	$< 1,0$	0,05–0,06	0,03–0,04	0,07–0,08	0,06–0,07
	1,0–2,0	0,06–0,07	0,04–0,05	0,08–0,09	0,07–0,08
	2,0–4,0	0,07–0,08	0,05–0,06	0,09–0,10	0,08–0,09
> 76	$< 2,0$		0,04–0,05		
	2,0–4,0	0,08–0,09	0,05–0,06	0,10–0,12	

Примітки:

- 1) при нарізанні точних різб подачу зменшують на 25%;
- 2) при нарізанні трапецеїдальної різби подачу призначають 0,3–0,6 мм/зуб залежно від забезпечуваної точності.

Швидкість різання V (м/хв) становить:

— при нарізанні кріпильної різьби різцями з пластинами із твердого сплаву

$$V = \frac{C_V t^X}{T^m S^Y} K_V;$$

— при нарізанні кріпильної і трапецеїдальної різьби різцями із швидкорізальної сталі

$$V = \frac{C_V}{T^m S^Y t^X} K_V;$$

— при вихровому нарізанні метричної і трапецеїдальної різьби твердосплавними різцями в обертових головках

$$V = \frac{C_V}{T^m S^Y S_Z^X} K_V.$$

Значення коефіцієнта C_V і показників степенів наведені в табл. 49.

Загальний поправковий коефіцієнт на швидкість різання при нарізанні різьби різцями, що враховує фактичні умови різання, є добутком ряду коефіцієнтів:

$$K_V = K_{m_V} K_{i_V} K_{c_V},$$

де K_{m_V} — коефіцієнт, що враховує властивості оброблюваного матеріалу (див. табл. 3—6); K_{i_V} — коефіцієнт, що враховує властивості матеріалу різальної частини інструмента (див. табл. 8); K_{c_V} — коефіцієнт, що враховує спосіб нарізання різьби: становить 1,0, якщо різьба утворюється чорновим і чистовим різцями, або 0,75, якщо різьба утворюється тільки чистовим різцем.

При нарізанні різьби з обмеженим виходом різця (в упор), а також при необхідності ручного відводу різця швидкість різання зменшують і розраховують із співвідношення:

$$V = \frac{\pi D f}{1000 \tau p},$$

де D — номінальний діаметр різьби, мм; f — ширина виточування для виходу різця, мм; p — крок нарізання різьби, мм; τ — час на відведення різця та перемикання станка на зворотний хід, він дорівнює 0,01—0,04 хв.

Швидкість різання при нарізанні метричної різьби мітчиками, круглими плашками та нарізними головками обчислюється за формулою:

$$V = \frac{C_V D^q}{T^m S^Y} K_V,$$

а при нарізанні різьбовими гребінчастими фрезами вона становить:

$$V = \frac{C_V}{T^m S^Y S_Z^X} K_V.$$

Таблиця 49

Коефіцієнт C_V та показники степенів у формулах для швидкості різання при різьбонарізуванні

Оброблюваний матеріал	Нарізування різби	Матеріал різальної частини	Умови різання або конструкція інструмента	Коефіцієнт і показники степенів					Період стійкості T , хв
				C_v	X	Y	q	m	
Сталь конструкційна вуглецева, $\sigma_B=750$ МПа	кріпильної, різцями	Т15К6	—	244	0,23	0,30		0,20	70
			чорнові ходи $p \leq 2$ мм	14,8	0,70	0,11			
		Р6М5	чорнові ходи $p > 2$ мм	30,0	0,60	0,25	0,08	80	
			чистові ходи	41,8	0,45	0,30	0,13		
	трапецеїдальної, різцями	Р6М5	чорнові ходи	32,6	0,60	0,20	0,14	70	
			чистові ходи	47,8	0	0,18			
	кріпильної та трапецеїдальної, вихрове машинними мітчиками	Т15К6		2330	0,50		0,50	80	
			гайковими мітчиками	64,8					
	Сірий чавун, HB 190	гайковими автомат-ними мітчиками	Р6М5	—	53,0		0,50	1,2	0,90
				кріпильними плашками	41,0		—		
різбонарізними головками		Р6М5	9ХС, У12А	2,7	1,20	0,50	120		
			гребінчастими фрезами	7,4	0,30			0,4	
Ковкий чавун, HB 150		кріпильної, різцями	ВК6	—	198	0,45	0	0,33	70
					83,0		0,30		
	гребінчастими фрезами	Р6М5	140	—	2,00	0,5	200		
			245		0,50	1,2			
Силуміни	гайковими мітчиками			20,0		0,90	90		

Примітка

Нарізування різби виконується з використанням мастильно-охолоджувальних рідин, рекомендованих для даного виду обробки.

Значення коефіцієнта C_V і показників степенів, а також середнє значення періоду стійкості T для різних різальних інструментів наведені в табл. 49.

Дані про стійкість ряду інструментів є орієнтовними, тому що в усіх випадках швидкість різання не розраховується, а встановлюється, виходячи з того, що при нарізанні плашками якісна різьба може бути одержана при швидкості різання не більше 4 м/хв, а при нарізанні гвинтонарізними головками — при швидкості різання не більше 14–16 м/хв.

При утворенні різьби мітчиками та гребінчастими нарізними фрезами найбільш продуктивним і економічним є нарізання при максимальній швидкості різання, яка обмежена швидкістю, що може забезпечити устаткування, а також потужністю його приводу.

Загальний поправковий коефіцієнт на швидкість різання при нарізанні різьби мітчиками, плашками, нарізними головками та нарізними гребінчастими фрезами, що враховує фактичні умови різання, є добутком ряду коефіцієнтів:

$$K_V = K_{m_V} K_{i_V} K_{t_V},$$

де K_{m_V} та K_{i_V} — коефіцієнти, що враховують властивості оброблюваного та інструментального матеріалів; K_{t_V} — коефіцієнт, що враховує точність нарізання різьби (див. табл. 50).

Тангенціальна складова сили різання P_Z (Н) та крутий момент $M_{кр}$ (Н·м). При нарізанні різьби різцями тангенціальна складова сили різання обчислюється за формулою:

$$P_Z = \frac{10 C_P p^Y}{i^n} K_P,$$

де p — крок різьби, мм; i — кількість робочих ходів призначається за табл. 45, 46; K_P — загальний поправковий коефіцієнт.

При нарізанні різьби мітчиками та нарізними головками крутий момент визначається із співвідношення:

$$M_{кр} = 10 C_M D^q p^Y K_P,$$

де D — номінальний діаметр різьби, мм.

Значення коефіцієнтів C_P , C_M і показників степенів наведені в табл. 51. Загальний поправковий коефіцієнт, що враховує фактичні умови обробки, у цьому випадку залежить тільки від матеріалу оброблюваної заготовки, тобто

$$K_P = K_{m_P}.$$

Значення коефіцієнта K_{m_P} для обробки сталі та чавуну різцями призначають за табл. 11, для обробки іншими інструментами — за табл. 50.

Таблиця 50

**Поправкові коефіцієнти на швидкість різання та крутний момент
для мітчиків, плашок і нарізних головок**

Оброблюваний матеріал	Поправкові коефіцієнти на швидкість різання, що враховують					Поправковий коефіцієнт на крутний момент K_{m_p}
	оброблюваний матеріал K_{m_v}	матеріал інструмента K_{i_v}		клас точності різби K_{t_v}		
		P6M5	9ХС, У10А, У12А	точний	середній	
Сталь						
вуглецева $\sigma_B < 600$ МПа	0,7	1,0	0,7	0,8	1,0–1,25	1,3
вуглецева $\sigma_B = 600\text{--}800$ МПа	1,0					1,0
легована $\sigma_B < 700$ МПа	0,9					1,0
легована $\sigma_B = 700\text{--}800$ МПа	0,8					0,85
Чавун						
сірий $HB < 140$	1,0	1,0	0,7	0,8	1,0–1,25	1,0
сірий $HB 140\text{--}180$	0,7					1,2
сірий $HB > 180$	0,5					1,5
ковкий	1,7					0,5

Таблиця 51

**Коефіцієнти C_p , C_M і показники степенів у формулах
для сили різання та крутного моменту при різьбонарізуванні**

Оброблюваний матеріал	Різальний інструмент	Коефіцієнти і показники степенів				
		C_p	C_M	Y	q	u
Сталь кон- струкційна вуглецевиста, $\sigma_B=750$ МПа	різці	148	—	1,7	—	0,71
	машинні мітчики	—	0,0270	1,5	1,4	—
	гайкові мітчики		0,0041		1,7	
	автоматичні		0,0025		2,0	
	гайкові мітчики		0,0450		1,1	
	кругові плашки		0,0460			
Чавун	різці	103	—	1,8	—	0,82
	машинні мітчики	—	0,0130	1,5	1,4	—
Силумін	гайкові мітчики		0,0022		1,8	

Ефективна потужність різання N_e (кВт). При нарізанні різьби різцями ефективна потужність різання обчислюється за формулою:

$$N_e = \frac{P_z V}{1020 \cdot 60};$$

при нарізанні різьби мітчиками, плашками та нарізними головками вона розраховується із співвідношень:

$$N_e = \frac{M_{kp} n}{9750},$$

де n — частота обертання інструмента або заготовки, об/хв.

$$n = \frac{1000 V}{\pi D}.$$

При вихровому нарізанні різьби обертовою головкою з різцями за один прохід ефективну потужність різання визначають за формулами:

— для метричної різьби

$$N_e = \frac{0,1 S^{0,5} S_z^{0,4} Z^{0,5} V^{0,8}}{D^{0,7}};$$

— для трапецеїдальної різьби

$$N_e = \frac{0,028 S^{1,2} S_z^{0,6} Z^{0,5} V^{0,8}}{D^{0,7}}.$$

При нарізанні різьби за декілька проходів, а також при нарізанні нестандартної різьби розраховане значення ефективної потужності різання слід помножити на відношення фактичної висоти профілю, що зрізається за один прохід, до висоти різьби згідно з ГОСТ.

Основний технологічний час T_o (хв) обчислюється за формулами, що наведені в табл. 55.

Розділ 8

ПРОТЯГУВАННЯ ТА ПРОШИВАННЯ

Протягування й прошивання є точними і високопродуктивними методами обробки. Вони застосовуються для обробки отворів різноманітного перерізу (рис. 8.1). **Протягуванням** називається обробка отворів у заготовках на протягувальному верстаті витягуванням крізь отвір різального інструмента — протяжки. **Прошиванням** називається обробка отворів у деталі на пресі прошовхуванням крізь отвір різального інструмента — прошивки. Принципова різниця між цими обробками полягає в способі подачі різального інструмента — при протягуванні він працює на розтягання, а при прошиванні на стискання. Якщо торець

оброблюваного отвору перпендикулярний напрямку протягування, то заготовку на верстаті можна встановлювати на жорсткій опорі, в інших випадках — на шарнірній опорі.

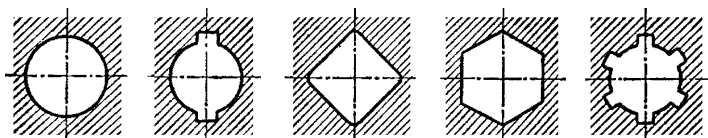


Рис. 8.1. Форми отворів, оброблені протягуванням

Протяжка або прошивка являє собою зубчастий стрижень або рейку, яка має ступінчасто-плавномісний поперечний переріз, що від початку до кінця різальної частини інструмента поволі наближається до остаточної форми й розмірів перерізу оброблюваного отвору (рис. 8.2). Умови роботи прошивок на стискання обмежують їх довжину, яка може перевищувати розміри оброблюваного отвору тільки в 12—15 разів. Прошивки більшої довжини зазвичай утрачають стійкість і згинаються. Для протягування циліндричних отворів використовують протяжки прогресивного різання, змінного (профільного) різання та з гвинтовим зубом.

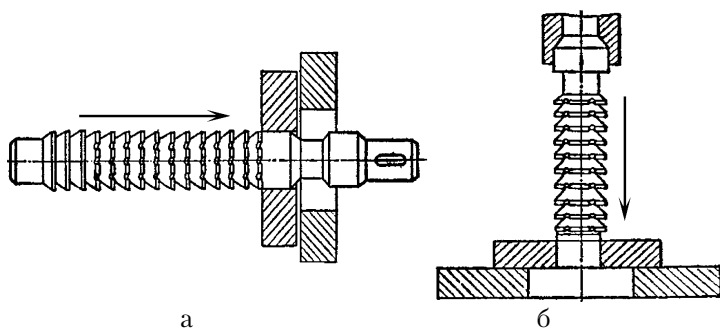


Рис. 8.2. Обробка отворів:

а — протяжкою; б — прошивкою

Різальна частина **протяжок прогресивного різання** складається з декількох секцій. Секція має різальні й зачищувальні зуби з однаковим діаметром, але з різною довжиною різальних кромки. Загальна кількість зубів у секції становить від 2 до 6. Кожна наступна секція має збільшений переріз. Такі протяжки характеризуються поліпшеними умовами відведення тепла від різальних зубів, зниженою питомою

силою різання й відносно короткою різальною частиною. Проте, вони порівняно швидко втрачають працездатність через зношення і поломки в кутах стружкозламних канавок.

Протяжки профільного різання позбавлені недоліків протяжок прогресивного різання, тому що мають зуби, виконані у формі фасонного різця з плавними криволінійними кромками. Однак, їх виготовлення є складнішим і дорожчим. Вони коротші від протяжок прогресивного різання і забезпечують більш високу точність.

Протяжки з гвинтовим зубом застосовуються для обробки глибоких отворів, тобто отворів невеликого діаметра порівняно з їх довжиною. Також глибокими чи довгими вважаються такі отвори, довжина яких перевищує 6—7 кроків протяжки. Зазвичай використовується комплект протяжок, що залежно від довжини отвору може містити від 2 до 5 штук. Для обробки глибоких отворів циліндричної форми застосовуються дво- і тризахідні гвинтові протяжки, кут нахилу гвинтової лінії яких зазвичай становить 48—50°. Для одержання спіральної канавки в отворі необхідно під час обробки обертати протяжку з певною швидкістю.

Дуже часто при протягуванні глибоких отворів із метою запобігання поломці протяжки у конструкції отвору передбачається спеціальне виточування трохи більшого діаметра. Обробка глибоких отворів протягуванням має особливості, що накладають певні умови на конструкцію інструмента, а саме: 1) велика кількість зрізаного матеріалу, що припадає на один зуб, тому в конструкції протяжки мають бути такі западини, які розмістять утворену стружку або забезпечать її відведення; 2) значне навантаження на протяжку через одночасну роботу великої кількості зубів; 3) незадовільні умови охолодження із збільшенням глибини оброблюваного отвору; 4) ускладнені умови подачі мастильно-охолодної рідини в зону різання.

Елементи різання при протягуванні такі: сумарний периметр різання, тобто найбільша сумарна довжина леза всіх зубів, які ріжуть одночасно, B_{Σ} , мм; подача на один зуб протяжки S_z , мм/зуб; швидкість різання V , м/хв.

Сумарний периметр різання B_{Σ} залежить від форми та розмірів оброблюваної поверхні, схеми різання, він обчислюється за формулою:

$$B_{\Sigma} = \frac{BZ_l}{Z_c},$$

де B —периметр різання, мм; Z_c —число зубів у секції протяжки при прогресивній схемі різання; Z_l —найбільша кількість зубів, які ріжуть одночасно.

Зазвичай периметр різання B дорівнює довжині оброблюваного контуру заготовки, проте він може бути більшим на величину $1/\cos \lambda$ у разі розташування зубів із нахилом до площини оброблюваного контуру на кут λ . Параметр Z_c при застосуванні профільної або генераторної схеми різання дорівнює одиниці.

Найбільша кількість зубів Z_f , які різуть одночасно, визначається із співвідношення:

$$Z_f = \frac{l}{t},$$

де l — довжина оброблюваної поверхні за винятком пазів та виточувань, якщо вони існують, мм; t — крок ріжучих зубів, мм. Розраховане за формулою значення Z_f необхідно округлити до найближчого цілого числа.

Подача S_z при протягуванні визначається різницею між розмірами сусідніх зубів протяжки, тобто подача є невід'ємним елементом її конструкції.

Швидкість різання V визначається вимогами щодо точності обробки й параметра шорсткості оброблюваної поверхні. Швидкість різання вибирають залежно від групи швидкості за табл. 52. Групи швидкості при протягуванні наведені в табл. 53.

Таблиця 52

Швидкість різання для протяжок зі швидкорізальної сталі Р6М5

Група швидкості різання*	Протяжки			
	циліндричні	шліцові	шпонкові та для зовнішнього протягування	усіх типів
	Швидкість різання V , м/хв			
I	8/6	8/3	10/7	4
II	7/5	7/4,5	8/6	3
III	6/4	6/3,5	7/5	2,5
IV	4/3	4/2,5	4/3,5	2

* — див. табл. 53.

Примітки:

1) у чисельнику наведені значення швидкості різання, що забезпечують $Ra = 3,2 - 6,3$ мкм і точність 8–9 квалітетів, у знаменнику — $Ra = 1,6$ мкм і точність 7 квалітету; для протяжок усіх типів забезпечується $Ra = 0,8 - 0,4$ мкм;

2) при протягуванні зовнішніх поверхонь із допуском до 0,03 мм секціями протяжок із фасонним профілем швидкість різання слід знизити до 4–5 м/хв;

3) для протяжок зі сталі ХВГ табличні швидкості різання слід знизити на 25–30%.

Таблиця 53

Групи швидкості різання при протягуванні сталі та чавуну

Оброблюваний матеріал	Твердість оброблюваного матеріалу за Брінеллем <i>HB</i>					
	≤ 156	156–187	187–197	197–229	229–269	269–321
Сталь						
вуглециста, автоматна	IV	III	II	I		II
марганцевиста, хромованадїєва	—	III		II		III
хромиста	—	II	I		II	III
хромомолібденова	—	II			III	
хромокремениста, кремнемарганцева	—			II	III	IV
хромомарганцевиста	—	II	I		II	III
хромокремнемарганцевиста	—			II		III
нікелева	—		IV	III		—
хромонікелева	—	III	II			III
хромомаргацемолібденова	—			I	II	III
нікелемолібденова	—		III		II	III
хромомарганцетитанова	—			II		—
хромонікелемолібденова	—				III	IV
Чавун						
сірий	—	I	II			—
ковкий	I			—		

При нормативній швидкості різання необхідне значення параметра шорсткості поверхні може бути досягнуто при оптимальних значеннях переднього та заднього кутів зуба протяжки, а також при наявності у протяжки попередніх і чистових зубів. Вибрану нормативну швидкість різання порівнюють із максимальною швидкістю робочого ходу верстата, а також із швидкістю різання, яка обмежується потужністю двигуна верстата:

$$V = 61200 \frac{N}{P_Z} \eta,$$

де N — потужність двигуна верстата, кВт; P_Z — сила різання при протягуванні, Н; η — коефіцієнт корисної дії верстата. За робочу швидкість приймають найменшу з порівнюваних швидкостей.

Сила різання P_Z (Н) при протягуванні становить:

$$P_Z = PB_{\Sigma},$$

де P — сила різання, що приходить на 1 мм довжини леза зуба протяжки, Н. Вона залежить від властивостей оброблюваного матеріалу й величини подачі на один зуб протяжки S_Z (див. табл. 54.).

Основний технологічний час T_o (хв) обчислюється за формулами, що наведені в табл. 55.

Сила різання при протягуванні сталі та чавуну

Подача S_z , мм / зуб	Оброблюваний матеріал									
	Вуглецева сталь			Легована сталь			Чавун			
	$HB \leq 197$	$HB\ 198-229$	$HB > 229$	$HB \leq 197$	$HB\ 198-229$	$HB > 229$	сірій		Р, Н	ковкий
							$HB \leq 180$	$HB > 180$		
Сила різання, що припадає на 1 мм довжини леза зуба протяжки										
0,01	65	71	85	76	85	91	55	75	63	
0,02	95	105	125	126	136	158	81	89	73	
0,03	123	136	161	157	169	186	104	115	94	
0,04	143	158	187	184	198	218	121	134	109	
0,06	177	195	232	238	255	282	151	166	134	
0,08	213	235	280	280	302	335	180	200	164	
0,10	247	273	325	328	354	390	207	236	192	
0,12	285	315	375	378	407	450	243	268	220	
0,14	324	357	425	423	457	550	273	303	250	
0,16	360	398	472	471	510	560	305	336	276	
0,18	395	436	520	525	565	625	334	370	302	
0,20	427	473	562	576	620	685	360	402	326	
0,22	456	503	600	620	667	738	385	427	349	
0,25	495	545	650	680	730	810	421	465	376	
0,30	564	615	730	785	845	933	476	522	431	

Примітка

Значення сили різання наведено для нормальних умов експлуатації, а саме: передні й задні кути зубів протяжки оптимальні, величина зношення не перевищує допустимої величини.

Розділ 9

РОЗРАХУНОК І ПРИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Програмне забезпечення для розрахунку режимів різання металів розроблено в середовищі *Borland Delphi 6.0* із використанням мови програмування *Object Pascal* і системи управління базами даних *Paradox*. Зазначений програмний комплекс дозволяє виконати розрахунок глибини різання, подачі, а також швидкості, сили й ефективної потужності різання для основних видів механічної обробки, а саме: точіння, свердління, фрезерування, розрізування, різьбонарізування та протягування. Форми для введення початкових даних і розрахунку режимів різання при точінні й свердлінні наведені на рис. 9.1, 9.2.

Розрахунок режимів різання металів

Точіння | Свердління | Фрезерування | Розрізування | Різьбонарізування | Протягування

Розрахунок | База даних

Параметри деталі

Матеріал деталі: Сталь конструкційна, c
Діаметр деталі: до 20
Шорсткість до обробки: 20
Стан поверхні: Без кірки
Твердість: 35
Міцність: 500

Параметри обробки

Тип обробки: Точіння червоне
Околювання: Немає

Параметри різця

Матеріал різальної частини: T15K6
Головний кут у плані: 20
Передній кут: 10
Радіус при вершині різця: 2
Переріз державки: від 16x25 до 25x25
Доповісний кут у плані: 10
Кут нахилу лека: 5
Стієвість: 90

Режими різання

Глибина різання: 3
Подача: 0,4
Швидкість: 308,7
Сила: 1413,5
Потужність: 7,129

Розрахунок

Рис. 9.1. Форма для розрахунку режимів різання при точінні

Рис. 9.2. Форма для розрахунку режимів різання при свердлінні

Процес введення даних, необхідних для розрахунку режимів різання, складається з таких етапів:

— введення даних про механічні властивості оброблюваного матеріалу, стан поверхні заготовки й геометричні параметри деталі (рис. 9.3);

Рис. 9.3. Введення параметрів заготовки й деталі

— уведення даних про тип і умови обробки, вибір матеріалу різальної частини та геометричних параметрів інструмента (рис. 9.4);

Параметри обробки	
Тип обробки	Точіння чернове
Охолодження	Немає

Параметри різця	
Матеріал різальної частини	T15K10
Переріз державки	від 16x25 до 25x25
Головний кут у плані	T15K6
Допоміжний кут у плані	20
Передній кут	P18
Кут нахилу леза	5
Радіус при вершині різця	2
Стієвість	90

Рис. 9.4. Уведення даних про умови обробки й різальний інструмент

— розрахунок режимів різання натисненням кнопки «Розрахунок», виведення результатів розрахунку (рис. 9.5).

Режими різання	
Глибина різання	3
Подача	0.4
Швидкість	308.7
Сила	1413.5
Потужність	7.129

Розрахунок

Рис. 9.5. Результати розрахунку режимів різання

Програмний комплекс має «відкриту» архітектуру, тобто в ньому передбачений доступ користувача до режиму поповнення й редагування початкової бази даних. Це надає можливість гнучкої адаптації або вдосконалення програмного комплексу для більш якісного вирішення певної групи задач. Вигляд форми для перегляду й редагування бази даних наведений на рис. 9.6

Бази даних побудовані за реляційним принципом і складаються з таблиць, які необхідні для визначення параметрів, що містяться у формулах розрахунку режимів різання. Реалізація реляційних зв'язків між таблицями бази даних показана на рис. 9.7.

Програма: Розрахунок режимів різання металів

Точіння Свердління Фрезерування Розрізування Робочі розрізування Протигравання

Розрахунок: База даних

Подвій для чорнового освітнього точіння

Діаметр	Переріз державки	Матеріал	Tmin	Tmax	Smin	Smax
до 20	від 16x25 до 25x25	Сталь конструкційна, вуглецева, легок	0	3	0,3	0,4
20-40	від 16x25 до 25x25	Сталь конструкційна, вуглецева, легок	0	3	0,4	0,5
40-60	від 16x25 до 25x40	Сталь конструкційна, вуглецева, легок	0	3	0,5	0,9
60-100	від 16x25 до 25x40	Сталь конструкційна, вуглецева, легок	0	3	0,6	1,2
100-400	від 16x25 до 25x40	Сталь конструкційна, вуглецева, легок	0	3	0,8	1,3
400-500	від 20x30 до 40x60	Сталь конструкційна, вуглецева, легок	0	3	1,1	1,4
20-40	від 16x25 до 25x25	Чавун та нікелі сплави	0	3	0,4	0,5
40-60	від 16x25 до 25x40	Чавун та нікелі сплави	0	3	0,6	0,9
60-100	від 16x25 до 25x40	Чавун та нікелі сплави	0	3	0,8	1,4
100-400	від 16x25 до 25x40	Чавун та нікелі сплави	0	3	1	1,5
400-500	від 20x30 до 40x60	Чавун та нікелі сплави	0	3	1,3	1,6
20-40	від 16x25 до 25x25	Сталь конструкційна, вуглецева, легок	3	5	0,3	0,4
40-60	від 16x25 до 25x40	Сталь конструкційна, вуглецева, легок	3	5	0,4	0,8
60-100	від 16x25 до 25x40	Сталь конструкційна, вуглецева, легок	3	5	0,5	1,1
100-400	від 16x25 до 25x40	Сталь конструкційна, вуглецева, легок	3	5	0,7	1,2
400-500	від 20x30 до 40x60	Сталь конструкційна, вуглецева, легок	3	5	1	1,3
40-60	від 16x25 до 25x40	Чавун та нікелі сплави	3	5	0,5	0,8
60-100	від 16x25 до 25x40	Чавун та нікелі сплави	3	5	0,7	1,2
100-400	від 16x25 до 25x40	Чавун та нікелі сплави	3	5	0,8	1,3
400-500	від 20x30 до 40x60	Чавун та нікелі сплави	3	5	1,2	1,5
40-60	від 16x25 до 25x40	Сталь конструкційна, вуглецева, легок	5	8	0,3	0,7
60-100	від 16x25 до 25x40	Сталь конструкційна, вуглецева, легок	5	8	0,5	0,9
100-400	від 16x25 до 25x40	Сталь конструкційна, вуглецева, легок	5	8	0,6	1
400-500	від 20x30 до 40x60	Сталь конструкційна, вуглецева, легок	5	8	0,7	1,2
40-60	від 16x25 до 25x40	Чавун та нікелі сплави	5	8	0,4	0,7
60-100	від 16x25 до 25x40	Чавун та нікелі сплави	5	8	0,6	1

Рис. 9.6. Форма для перегляду й редагування бази даних

Code	Diam
1	до 20
2	20-40
3	40-60
4	60-100
5	100-400
6	400-500

Code	Secch
1	від 16x25 до 25x25
2	від 16x25 до 25x40
3	від 20x30 до 40x60

Code	Matr
1	Сталь конструкційна, вуглецева, легкова та жаростійка
2	Чавун та нікелі сплави

Розрахунок режимів різання металів

Точіння Свердління Фрезерування Розрізування Робочі розрізування Протигравання

Розрахунок: База даних TabSheet9

D	HxB	Material	Tmin	Tmax	Smin	Smax
1	1	1	0	3	0,3	0,4
2	1	1	0	3	0,4	0,5
3	2	1	0	3	0,5	0,9
4	2	1	0	3	0,6	1,2
5	2	1	0	3	0,8	1,3
6	3	1	0	3	1,1	1,4
2	1	2	0	3	0,4	0,5
3	2	2	0	3	0,5	0,9
4	2	2	0	3	0,6	1,2
5	2	2	0	3	0,8	1,3
6	3	2	0	3	1,1	1,4

Рис. 9.7. Реляційні зв'язки при формуванні таблиці подач для чорнового точіння

Далі наведений модуль *Main* для розрахунку режимів різання при точінні:

```
unit Main;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics,
  Controls, Forms, Dialogs, StdCtrls, Buttons, ComCtrls, Math,
  DB, DBCtrls, IBDatabase, IBCustomDataSet, IBTable, DBTables,
  Grids, DBGrids;
type
  TForm1 = class(TForm)
    PageControl1: TPageControl; TabSheet1: TTabSheet;
    TabSheet2: TTabSheet; GroupBox4: TGroupBox;
    Label17: TLabel; Label18: TLabel; Label19: TLabel;
    Label20: TLabel; Label34: TLabel; ComboBox6: TComboBox;
    ComboBox7: TComboBox; ComboBox8: TComboBox; Edit12: TEdit;
    ComboBox12: TComboBox; GroupBox5: TGroupBox;
    Label21: TLabel; Label22: TLabel; Label25: TLabel;
    Label26: TLabel; Label27: TLabel; Edit13: TEdit;
    Edit14: TEdit; ComboBox10: TComboBox; Edit16: TEdit;
    Edit17: TEdit; GroupBox6: TGroupBox; Label28: TLabel;
    Label29: TLabel; Label30: TLabel; Label31: TLabel;
    Label32: TLabel; Edit18: TEdit; Edit19: TEdit;
    Edit20: TEdit; Edit21: TEdit; Edit22: TEdit;
    BitBtn1: TBitBtn; TabSheet3: TTabSheet;
    TabSheet4: TTabSheet; TabSheet5: TTabSheet;
    TabSheet6: TTabSheet; Edit15: TEdit; Label23: TLabel;
    Table1: TTable; DataSource2: TDataSource;
    DataSource1: TDataSource; Table2: TTable;
    PageControl2: TPageControl; TabSheet7: TTabSheet;
    TabSheet8: TTabSheet; GroupBox1: TGroupBox; Label2: TLabel;
    Label1: TLabel; Label9: TLabel; Edit5: TEdit;
    DiamCB: TDBLookupComboBox; MaterialCB: TDBLookupComboBox;
    GroupBox2: TGroupBox; Label6: TLabel; Label7: TLabel;
    Label8: TLabel; Label4: TLabel; Label10: TLabel;
    Label15: TLabel; Label16: TLabel; Edit4: TEdit;
    ComboBox5: TComboBox; Edit10: TEdit; Edit11: TEdit;
    GroupBox3: TGroupBox; Label5: TLabel; Label11: TLabel;
    Label12: TLabel; Label13: TLabel; Label14: TLabel;
    Edit1: TEdit; Edit6: TEdit; Edit7: TEdit; Edit8: TEdit;
    Edit9: TEdit; BitBtn2: TBitBtn; DBGrid1: TDBGrid;
    ComboBox2: TComboBox; Q1: TQuery; DataSource3: TDataSource;
    Q1D: TSmallintField; Q1HxB: TSmallintField;
    Q1Material: TSmallintField; Q1D1: TStringField;
    Q1Smin: TFloatField; Q1Smax: TFloatField;
    Q1Material2: TStringField; Table3: TTable;
```

```

DataSource4: TDataSource; Q1HxB1: TStringField;
Q1Tmin: TSmallintField; Q1Tmax: TSmallintField;
SechCB: TDBLookupComboBox; PodachaDS: TDataSource;
Label24: TLabel; Edit23: TEdit; Label35: TLabel;
ComboBox4: TComboBox; Label3: TLabel; ComboBox1: TComboBox;
Label33: TLabel; Edit24: TEdit; GroupBox7: TGroupBox;
Label38: TLabel; Label40: TLabel; ComboBox13: TComboBox;
ComboBox14: TComboBox; PodachaQ: TQuery; KfiT: TTable;
KfiDS: TDataSource; KfiCB: TDBLookupComboBox;
KfilDS: TDataSource; KfilT: TTable;
KfilCB: TDBLookupComboBox; TabSheet9: TTabSheet;
DBGrid2: TDBGrid; Table4: TTable; DataSource5: TDataSource;
procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
procedure PageControl2Change(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
private
    { Private declarations }
public
    { Public declarations }
end;
var
    Form1: TForm1;
    t, S, V, Cv, Kv, Ts, m, X, Y, B, H, D, Fi,
    Fil, Gl, Gil, Ra, Rz, R, Pz, Px, Py, Kmv,
    Knv, Kiv, Kti, Ktb, Kfiv, Kfiv1, Kr, Cp, Kp,
    Kfilv, Krv, Kmp, Kfip, Kgp, Klp, Krp, Ne,n, Gb : double;
    Ohol, Material, Pereriz, Tobr, Dd, MaterialD : Byte;
{end of interface}
implementation
{$R *.dfm}

procedure RunSQL(var Query: TQuery; s: String);
begin
    Query.Active:=false;
    Query.SQL.Clear;
    Query.SQL.Add(s);
    Query.Prepare;
    try
        Query.Active:=true;
    except
    end;
end;

procedure TForm1.BitBtn2Click(Sender: TObject);
var
    St: string;

```

```

begin
  T:= StrToFloat(Edit23.Text); t:= StrToFloat(Edit1.Text);
  PodachaQ.Active:= False;
  PodachaQ.Params.ParamByName('MaterialP').AsInteger :=
MaterialCB.KeyValue;
  PodachaQ.Params.ParamByName('DiamP').AsInteger :=
DiamCB.KeyValue;
  PodachaQ.Params.ParamByName('SechP').AsInteger :=
SechCB.KeyValue;
  PodachaQ.Params.ParamByName('tP').AsFloat := t;
  PodachaQ.Active:= True;
  try
    S:= PodachaQ['Smax'];
  except
    ShowMessage('Неможливо визначити подачу');
    exit;
  end;
  Edit6.Text:= FloatToStr(S);
  Kv:= Kmv*Knv*Kiv*Kti*Ktb*Kfiv*Kfiv1*Kr;
  V:= Cv/(power(T,m)*power(t,X)*power(S,Y))*Kv;
  Edit7.Text:= FloatToStr(RoundTo(V,-1));
  Gb:= StrToFloat(Edit24.Text);
  Kmp:= power((Gb/750), 0.75);
  Kp:= Kmp*Kfip*Kgp*Klp*Krp;
  Pz:= 10*Cp*power(t,x)*power(s,Y)*power(V,n)*Kp;
  Edit8.Text:= FloatToStr(RoundTo(Pz,-2));
  N:= Pz*V/(1020*60);
  Edit9.Text:= FloatToStr(RoundTo(N,-3));
end;

procedure TForm1.PageControl2Change(Sender: TObject);
begin
  if PageControl2.ActivePageIndex = 1 then  Form1.Width:= 770
                                         else  Form1.Width:= 643;
end;

procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
  MaterialCB.KeyValue:= Table1['Code'];
  DiamCB.KeyValue:= Table2['Code'];
  SechCB.KeyValue:= Table3['Code'];
  KfiCB.KeyValue:= KfiT['Code'];
  KfilCB.KeyValue:= KfilT['Code'];
end;
end.{of Main}

```

Розділ 10

НОРМУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ

Нормуванням операцій називають розрахунок часу, необхідного для їхнього виконання. За цими нормами розраховують продуктивність і заробітну плату робітника. Норма часу на обробку визначається за такою схемою:

- обчислюється основний технологічний час на підставі розрахунків режимів різання ;
- визначаються за таблицями нормативи допоміжного часу, а також часу на технічне й організаційне обслуговування, відпочинок і персональні потреби;
- розраховується штучний час.

Основний технологічний час T_o розраховується залежно від виду обробки за формулами, наведеними в табл. 55.

Для однієї операції **штучний час $T_{шт}$** визначається таким чином:

$$T_{шт} = T_o + T_{доп} + T_{обс} + T_{орг} + T_{відп} ; T_{опер} = T_o + T_{доп} ,$$

де T_o — основний технологічний час; $T_{доп}$ — допоміжний час на встановлення, закріплення й знімання заготовки, підведення й відведення інструмента, вимірювання та управління верстатом; $T_{обс}$ — час на технічне обслуговування (змащення, видалення стружки, заміну інструмента); $T_{орг}$ — час на організаційне обслуговування (підготування або прибирання верстата й робочого місця); $T_{відп}$ — час на відпочинок і персональні потреби. Для спрощення розрахунків час на обслуговування та час на відпочинок визначають у відсотках від операційного часу $T_{опер}$. Тоді

$$T_{шт.к} = T_{опер} \left(1 + \frac{\alpha + \beta + \gamma}{100\%} \right),$$

де α , β , γ — відсотки від $T_{опер}$ для $T_{обс}$, $T_{орг}$, $T_{відп}$ відповідно. Зазвичай вони становлять: $\alpha = 1 - 3,5\%$, $\beta = 0,8 - 2,5\%$, $\alpha + \beta = 2 - 4\%$; для серійного виробництва $\gamma = 4 - 6\%$, для масового — $\gamma = 5 - 8\%$. Значення коефіцієнтів α , β , γ вибирають за таблицями технологічних довідників відповідно до нормативів часу для певного верстата й типу виробництва. Після нормування всіх операцій розраховується відсоток завантаження кожної операції за відношенням штучно-калькуляційного часу $T_{шт.к}$ до такту виробництва. За цим критерієм уточнюється маршрутна технологія або вживаються заходи для довантаження робочих місць. Водночас із нормуванням визначається розряд робітника за тарифно-кваліфікаційними довідниками. Далі визначається кількість основних робітників.

Формули для розрахунку основного технологічного часу

Операція	Розрахункова формула
Токарна обробка	
Обточування, розточування, підрізання й відрізання; прохідне обточування й розточування	$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{S_n} i; l_1 = \frac{t}{tg\varphi} + (0,5 \div 0,2); l_2 = 1 \div 5$
Підрізання торця заготовки суцільного перерізу	$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{S_n} i; l = \frac{D}{2}; l_1 = \frac{t}{tg\varphi} + (0,5 \div 2,0); l_2 = 0,5 \div 2,0$
Відрізання заготовки суцільного перерізу	$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{S_n} i; l = \frac{D}{2}; l_1 = 0,5 \div 2,0; l_2 = 0,5 \div 2,0$
Надрізання й обточування фасонних поверхонь фасонним різцем; обточування й розточування виточень із поперечною подачею	$T_o = \frac{l + l_1}{S_n} i; l = \frac{D - d}{2}; l_1 = 0,5 \div 2,0$
Свердління	
Центрування	$T_o = \frac{l + l_1}{S_n} i; l_1 = \frac{D}{2} ctg \varphi + (0,5 \div 2,0)$
Свердління наскрізних отворів	$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{S_n} i; l_1 = \frac{D}{2} ctg \varphi + (0,5 \div 2,0); l_2 = 1 \div 3$
Розсвердлювання, зенкерування й розгортання наскрізних отворів	$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{S_n} i; l_1 = \frac{D - d}{2} ctg \varphi + (0,5 \div 2,0);$ при розсвердлюванні й зенкеруванні $l_2 = 1 \div 3$; при розгортанні $l_2 = (0,2 \div 0,5)k$
Свердління й розсвердлювання глухих отворів	$T_o = \frac{l + l_1}{S_n} i;$ для свердління $l_1 = \frac{D}{2} ctg \varphi + (0,5 \div 2,0);$ для розсвердлювання $l_1 = \frac{D - d}{2} ctg \varphi + (0,5 \div 2,0)$

Операція	Розрахункова формула
Зенкерування й розгортання глухих отворів; зенкерування й розгортання в упор; цекування	$T_o = \frac{l + l_1}{S_n} i; l_1 = 0,5 \div 2,0$
Фрезерування	
Фрезерування плоских поверхонь циліндричними й кінцевими фрезами, пазів— дисковими фрезами, уступів—кінцевими фрезами	$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{S_n} i = \frac{l + l_1 + l_2}{S_{x\phi}} i; S_{x\phi} = S_Z Z n;$ $l_1 = \sqrt{t(D - t) + (0,5 \div 3,0)}; l_2 = 2 \div 5$
Фрезерування шпонковою фрезою шпонкових канавок	закритих з обох боків $T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{S_n} i = \frac{h + (0,5 \div 1,0)}{S_{x\phi, \phi}} + \frac{l - d}{S_{x\phi, n}};$
	відкритих з одного боку $T_o = \frac{l + l_1}{S_{x\phi, n}}; l_1 = 0,5 \div 1,0;$ відкритих
	з обох боків $T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{S_n} = \frac{l + l_1 + l_2}{S_{x\phi, n}}; l_1 = 0,5d + (0,5 \div 1,0)$
Різьбонарізування	
Нарізання зовнішньої та внутрішньої різьби різцем на токарному верстаті звичайним методом	$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{S_{n_1}} i; l_1 = l_2 = (1 \div 3)p$
Нарізання різьби мітчиком у наскрізному отворі	$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{S_n} + \frac{l + l_1 + l_2}{S_{n_1}}; l_1 = (1 \div 3)p; l_2 = (2 \div 3)p$
Нарізання різьби мітчиком у глухом отворі	$T_o = \frac{l + l_1}{S_n} + \frac{l + l_1}{S_{n_1}}; l_1 = (1 \div 3)p$

Операція	Розрахункова формула
Нарізання різьби плашкою	$T_o = \left(\frac{l + l_1 + l_2}{Sn} + \frac{l + l_1 + l_2}{Sn_1} \right) i; l_1 = (1 \div 3)p; l_2 = (0,5 \div 2,0)p$
Нарізання різьби гвинтонарізними головками	$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{Sn} i; l_1 = (1 \div 3)p; l_2 = (0,5 \div 2,0)p$
Нарізання зовнішньої та внутрішньої різьби груповою нарізною фрезою	$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{Sn} i = \frac{1,2 \pi D}{S_{x\theta}}; l = \pi D; l_1 + l_2 = 0,2 \pi D; S_{x\theta} = S_Z Z n$
Протягування	
Протягування круглого, квадратного або шліцевого отвору	$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{Sn} i; l = l_{p, np} + l_{\theta}; l_2 = 20 \div 50$

Позначення

T_o — основний технологічний час обробки на верстаті, хв; l — довжина оброблюваної поверхні, мм; l_1 — глибина врізання, мм; l_2 — довжина перебігу інструмента, мм; S — подача на один оберт заготовки або інструмента, мм/об; n — кількість подвійних ходів або частота обертання інструмента чи заготовки, об/хв; i — кількість робочих ходів; φ — головний кут у плані, °; t — глибина різання, мм; D — діаметр інструмента чи оброблюваної заготовки, мм; d — внутрішній діаметр порожнистих заготовок, мм; S_Z — подача на один зуб фрези, мм/зуб; Z — кількість зубів фрези; k — довжина калібрувальної частини розгортки; $S_{x\theta, \theta}$ — вертикальна хвилинна подача, мм/хв; $S_{x\theta, n}$ — позаддовжня хвилинна подача, мм/хв; $S_{x\theta}$ — хвилинна подача інструмента або заготовки, мм/хв; n_1 — частота обертання при вивертанні мітчика, плашки тощо, об/хв; p — крок різьби, мм; $l_{p, np}$ — робоча довжина протяжки, мм; l_{θ} — довжина заготовки при протягуванні, мм.

ОСОБЛИВОСТІ ПРИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ДЛЯ БАГАТОІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ ОБРОБКИ

Методика призначення режимів різання для багатоінструментальної обробки має такі особливості:

1. Продуктивність і економічність обробки залежать не тільки від режиму різання, а й від вибраного варіанта операційної технології, тобто від вибору типів інструментів, їх кількості, розташування тощо.

2. Подачі для окремих інструментів, закріплених в одному супорті, мають бути однаковими.

3. Зазвичай недостатня потужність верстата дуже часто змушує зменшувати вибрану швидкість різання, а недостатня міцність механізму подачі — вибрану подачу. Тому розрахунок потужності різання та сили подачі з урахуванням технічних можливостей конкретного верстата є обов'язковим у багатьох випадках.

4. Величину допустимого зношення інструментів визначають, головним чином, залежно від заданої якості оброблюваної поверхні. Тому величину допустимого зношення інструмента h_z для багатоінструментальної обробки призначають у середньому в півтора раза меншою, ніж для одноінструментальної обробки.

5. З метою запобігання збільшенню часу простою верстата через переналадження інструмента період стійкості для багатоінструментальної обробки призначають більшим, ніж для одноінструментальної обробки (див. табл. 9, 10).

6. Швидкість різання при багатоінструментальній обробці зазвичай менша, ніж при одноінструментальній, в основному через більші значення періоду стійкості.

11.1. ПРИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ДЛЯ ТОКАРНИХ АВТОМАТІВ І НАПІВАВТОМАТІВ

Режими різання для токарних автоматів і напівавтоматів призначають за такою методикою.

1. Розробляють наладку, тобто вибирають тип інструментів, їх кількість, геометрію різальної частини, а також розподіляють припуски та довжини ходу між інструментами. Наладка має забезпечувати якомога менший штучний час при стійкості інструмента, прийнятній за критері-

ем економічності. Вибір геометричних параметрів різального інструмента у багатьох випадках виконується так само, як і для одноінструментальної обробки.

2. Глибину різання призначають так само, як і для одноінструментальної обробки. При цьому необхідно враховувати, що припуск бажано видалити за один прохід.

3. Призначають подачу. Подача так само, як і для одноінструментальної обробки, має бути максимально допустимою згідно з технічними умовами. Основні фактори, що обмежують максимальне значення подачі такі: міцність і жорсткість оброблюваної заготовки; точність обробки; чистота оброблюваної поверхні; міцність та жорсткість інструмента; міцність механізму подач верстата. Потужність верстата — це фактор, що не обмежує подачу. При недостатній потужності верстата слід знизити швидкість різання.

Подачу призначають для кожного інструмента. Після цього за вибраними значеннями подач для окремих інструментів визначають подачі кожного супорта та інструментального шпинделя: їх приймають відповідними найменшим значенням подач. При чорновій обробці найменшу подачу призначають для найбільш навантаженого інструмента, який працює з найбільшою глибиною різання. При чистовій обробці найменшу подачу призначають для інструмента, що обробляє поверхню більш високого класу шорсткості.

При роботі кількома супортами подача для кожного з них повинна бути ув'язана з тривалістю роботи. Таке вирівнювання часу роботи супортів дозволяє зекономити інструмент, не зменшуючи машинного часу для тих супортів, які повинні діяти менший час. Міцність механізму подачі повинна бути перевірена за значенням сумарної сили подачі.

Подачі для стандартних різців (прохідних, підрізних тощо) при багатоінструментальній обробці приймають значно меншими (у 2—3 рази) порівняно з одноінструментальною обробкою. Максимальна подача фасонних різців обмежується 0,1 мм/об для багатошпиндельних автоматів та 0,08 мм/об для одношпиндельних автоматів. Ці обмеження пояснюються зазвичай технологічними вимогами до точності обробки та шорсткості оброблюваної поверхні.

4. Вибравши значення періоду стійкості, визначають швидкість різання й частоту обертання кожного інструмента аналогічно одноінструментальній обробці. Для верстата з одним шпинделем лімітуючим інструментом є той, для якого отримана найменша частота обертання. Ця частота після коригування згідно з технічними можливостями верстата буде загальною для всіх інструментів.

Після цього для кожного інструмента визначають дійсну швидкість різання й період стійкості. Далі встановлюють порядок заміни інструмента, тобто групову заміну або заміну всього комплекту. Оптимальна кількість переналагоджень верстата протягом робочої зміни становить 2—4. Бажано, щоб усі інструменти з комплекту мали однако-ву стійкість. Це, в деяких випадках, досягається застосуванням інструментів із різних інструментальних матеріалів. Лімітуючий інструмент повинен бути виготовлений з матеріалу, що має найбільш високі ріжучі властивості.

Швидкість різання й частоту обертання для кожного шпинделя багатошпиндельного верстата визначають окремо, як для одношпиндельного. Загальну частоту обертання шпинделів визначають за лімітуючим шпинделем. Після цього проводять розрахунок дійсних значень швидкості різання й періоду стійкості для кожного інструмента.

Для багатошпиндельних верстатів із різними частотами обертання шпинделів повинен бути встановлений загальний машинний час для всіх шпинделів, тому що передчасне закінчення роботи окремих шпинделів не дає жодних переваг. Для нелімітуючих шпинделів машинний час можна збільшити за рахунок зменшення швидкості різання та подачі. Для збільшення продуктивності випуску виробів необхідно зменшити машинний час для лімітуючого шпинделя. Це досягається застосуванням інструмента з більш високими ріжучими властивостями.

5. Розраховують сили різання, які утворюють крутний момент для кожного інструмента, а потім узагальнюють їх.

6. Розраховують потужність, необхідну для різання. Якщо вона більша від потужності верстата, то знижують частоту обертання.

7. Визначають продуктивність обробки за штучним часом.

8. Перевіряють режими різання на робочому місці з метою виявлення резервів їхнього підвищення. В умовах масового та багатосерійного виробництва експериментальне доведення режимів різання є обов'язковим.

11.2. ПРИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ДЛЯ АГРЕГАТНИХ ВЕРСТАТІВ І АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ

Режими різання для агрегатних верстатів і автоматичних ліній призначаються так само, як і для одноінструментальної обробки з урахуванням особливостей багатоінструментальної обробки на одношпиндельних і багатошпиндельних верстатах із різною частотою обертання шпинделів [7].

Режими різання, що визначені за нормативами або розраховані за емпіричними формулами, для агрегатних верстатів і автоматичних ліній знижують на 20—30% із метою доведення їх до значень, що забезпечують безперервну роботу інструмента без замін протягом однієї робочої зміни або її половини.

Час обробки, а отже, й режими різання вибирають за лімітуючою операцією (за шпинделем або інструментом), аналогічно з розробкою наладки для багатоінструментальної обробки. Тобто, при прийнятій стійкості лімітуючого інструмента визначають глибину різання, подачу та швидкість різання для всіх інструментів, шпинделів та операцій. Далі визначають допустимі режими різання й виконують перевірний розрахунок дійсної швидкості різання та стійкості інструмента на всіх операціях.

Враховуючи вищесказане, режими різання призначають за такою схемою:

1. Розраховують довжину ходу для кожного інструмента $L_1, L_2, \dots, L_{i-1}, L_i$, де i — кількість інструментів. Далі визначають максимальну довжину ходу і приймають її за довжиною ходу для силової головки:

$$L_{max} = \max(L_1, L_2, \dots, L_{i-1}, L_i).$$

2. Вибирають найбільші допустимі подачі для кожного інструмента $S_1, S_2, \dots, S_{i-1}, S_i$.

3. Відповідно до прийнятої стійкості інструментів (див. табл. 9) розраховують швидкість різання для кожного інструмента $V_1, V_2, \dots, V_{i-1}, V_i$. Далі розраховують частоту обертання шпинделів і призначають за паспортом верстата найближчі значення $n_1, n_2, \dots, n_{i-1}, n_i$.

4. Перераховують подачі за формулами:

$$S_{1_K} = S_1, \quad S_{2_K} = S_2 \frac{n_1}{n_2}, \quad \dots, \quad S_{(i-1)_K} = S_{i-1} \frac{n_1}{n_{i-1}}, \quad S_{i_K} = S_i \frac{n_1}{n_i},$$

де $S_{1_K}, S_{2_K}, \dots, S_{(i-1)_K}, S_{i_K}$ — подачі інструментів, скориговані за передавальним відношенням.

5. Розраховують хвилинні подачі для кожного шпинделя із співвідношення:

$$S_{x\theta_j} = S_{j_K} n_j, \quad j = \overline{1, i},$$

де j — номер інструмента або шпинделя. Мінімальну з розрахованих хвилинних подач призначають для силової головки:

$$S_{x\theta.z} = \min(S_{x\theta_1}, S_{x\theta_2}, \dots, S_{x\theta_{i-1}}, S_{x\theta_i}).$$

6. За визначеною величиною хвилинної подачі силової головки $S_{xв.г}$ та частотою обертання кожного шпинделя визначають фактичні подачі на один оберт кожного шпинделя:

$$S_{\phi_j} = \frac{S_{xв.г}}{n_j}, \quad j = \overline{1, i}.$$

7. Розраховують сили різання для кожного шпинделя. Після цього отримані результати порівнюють із допустимим зусиллям подачі для механізму подачі силової головки.

8. Аналогічно розраховують і перевіряють крутний момент та потужність, які потрібні для різання.

Призначаючи подачі, а також розраховуючи швидкості різання, сили різання, потужності та ін., усі необхідні дані вибирають відповідно до методу обробки.

11.3. НОРМУВАННЯ АГРЕГАТНИХ ОПЕРАЦІЙ

Для однопозиційних агрегатних верстатів нормування операцій виконується в такому порядку:

1. Визначають основний технологічний час T_o , хв.

$$T_o = \frac{L_{p.x}}{S_{xв.г}},$$

де $L_{p.x}$ — довжина робочого ходу, мм; $S_{xв.г}$ — хвилинна подача силової головки, мм/хв.

2. Визначають машинний час T_m , хв.

$$T_m = T_o + T_{\epsilon}, \quad T_{\epsilon} = \frac{L_{x.x}}{V_{\epsilon}},$$

де T_{ϵ} — час прискореного підведення та відведення силової головки, хв; $L_{x.x}$ — довжина холостого ходу, мм; V_{ϵ} — швидкість прискореного переміщення силової головки за паспортом верстата.

3. Визначають допоміжний час за нормативами T_{∂} , хв.

4. Розраховують штучний час $T_{шт}$, хв.

$$T_{шт} = T_m + T_{\partial} + T_{m.o} + T_{o.o} + T_{\epsilon i \partial},$$

де T_m — машинний час, хв; T_{∂} — допоміжний час, хв; $T_{m.o}$ — час на технічне обслуговування верстата, хв; $T_{o.o}$ — час на організаційне обслуговування, хв; $T_{\epsilon i \partial}$ — час на відпочинок, хв.

5. Розраховують годинну продуктивність верстата Q , шт.

$$Q = \frac{60\eta}{T_{шт}},$$

де η — коефіцієнт технічного використання верстата протягом машинного часу ($\eta = 0,9$). Він враховує витрати часу на встановлення різального інструмента, переналагодження верстата тощо.

Нормування операцій для багатопозиційних верстатів має наступні особливості:

1. Основний технологічний час T_o визначають для кожної позиції окремо. Максимальне значення цього часу на лімітуючій операції приймають за основний час для операції.

2. Машинний час T_m на операцію визначають за лімітуючою операцією.

3. Допоміжний час T_d залежно від компоновки верстата включає затрати часу на установку, закріплення та знімання заготовки, або на установку, закріплення, переміщення, розкріплення та знімання заготовки, або тільки на переміщення й поворот заготовки.

4. З метою зменшення витрат на інструмент режими різання на нелімітуючих позиціях повинні бути знижені в межах допустимих норм.

5. Залежно від складності компоновки верстата коефіцієнт технічного використання верстата η приймають у межах $0,6—0,9$.

ХАРАКТЕРИСТИКИ Й ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДНИХ РІДИН

Напруженість процесу різання, інтенсивність зношування різального інструмента та якості обробленої поверхні залежать від властивостей середовища, у якому здійснюється різання. Навколишнє атмосферне повітря є активним природним зовнішнім середовищем, яке позитивно впливає на процес різання. Кисень активно бере участь в утворенні плівок оксидів на поверхнях інструмента й оброблюваного матеріалу. Ці плівки зменшують сили молекулярної взаємодії та запобігають адгезійному схоплюванню й локальному холодному зварюванню різального й оброблюваного матеріалів. Різання у вакуумі, без кисню, практично неможливе, бо замість утворення звичного виду стружки відбувається грудкування зрізаного шару металу на передній поверхні інструмента; різання відбувається хитливо, з великими коливаннями сили різання, ривками та грубою вібрацією.

Для покращення умов у зоні різання застосовують штучні технологічні середовища. Спрямована зміна властивостей цих середовищ є одним зі шляхів керування процесами різання та зношування різальних інструментів. Середовища, що вводяться штучно в зону різання, можуть бути рідкими, твердими чи газоподібними. Зазвичай як зовнішні середовища застосовуються різні **мастильно-охолодні рідини**. Такі рідини подають у зону різання, де вони виконують мастильну, охолодну й мийну дію. Значення кожної з цих дій залежить від методу механічної обробки й властивостей оброблюваного й різального матеріалів.

Мийна дія полягає в утворенні адсорбційних плівок на дрібних частках стружки, нарості та на продуктах зношення інструменту, які перешкоджають злипанню і сприяють легкому видаленню із зони різання струменем мастильно-охолодні рідини. Це приводить до зменшення абразивного зношування різального інструмента.

Охолодна дія виявляється як у поглинанні тепла, що вже утворилося, так і в усуненні чи зменшенні причин його утворення. Зменшення температури в зоні різання й охолодження різального інструмента зазвичай сприяє збереженню механічних властивостей інструментального матеріалу, а також підвищує його зносостійкість.

Мастильна дія полягає в утворенні на поверхнях тертя плівок, різних за своєю фізико-хімічною природою, які зменшують сили тертя й зношення поверхонь контакту шляхом запобігання явищам адгезії та схоплювання.

лювання оброблюваного матеріалу з матеріалом різального інструмента.

Тобто при різанні матеріалів **мастильно-охолодні рідини виконують такі функції:**

- зменшують тертя між різцем і утворюваною стружкою, різцем і заготовкою, виконуючи мастильну дію;

- знижують роботу, затрачувану на пластичне деформування матеріалу;

- відводять тепло від зони різання, охолоджуючи інструмент і заготовку;

- перешкоджають появі наростів на третьових робочих поверхнях інструмента.

У більшості випадків це приводить до зменшення сили різання, поліпшення якості оброблюваної поверхні, збільшення стійкості інструмента. У наш час вважається, що **мастильна дія мастильно-охолодної рідини є основною** та найбільш важливою функцією в усьому можливому діапазоні швидкостей і температур різання. Шляхом застосування мастильно-охолодної рідини можна істотно підвищити економічність механічної обробки. У деяких випадках застосування ефективного технологічного середовища є єдиним технологічним засобом, що забезпечує можливість нормального різання.

Подача рідини в зону різання може здійснюватися вільно падаючим струменем із витратою 0,2 — 1,5 л/с, високонапірним подаванням під тиском 1,5 — 2,5 МПа, а також повітророзпиленням потоком.

За своїм складом і видами основних компонентів **мастильно-охолодні рідини поділяють на три групи:** масляні рідини, водні емульсії мінеральних олій і синтетичні рідини.

Масляні рідини являють собою мінеральні олії, в які додані антифрикційні, антиадгезійні, протизадиркові компоненти, інгібітори корозії та інші присадки. Активними присадками є олії й жири рослинного і тваринного походження, сульфозфрезоли — сірковмісні олії, а також речовини, що містять фосфор і хлор. Загальна частка присадок у масляних мастильно-охолодних рідинах може становити до 40%. Ці рідини широко застосовуються при чистових і оздоблювальних обробках для забезпечення високої якості оброблюваної поверхні.

Водні емульсії мінеральних олій виготовляють із води й емульсорів. Емульсор являє собою колоїдний розчин органічних кислот у мінеральних оліях із додатковими присадками. Уміст емульсора у воді зазвичай становить 2 — 10%, залежно від виду виконуваної операції й напруженості режиму різання. До складу емульсорів також входять: емульгатори; інгібітори корозії; бактерицидні, антифрикційні, антипін-

ні та інші присадки. При змішуванні емульсора з водою утворюється непрозора емульсія молочно-білого кольору.

Синтетичні мастильно-охолодні рідини являють собою водні розчини водорозчинних полімерів, поверхнево-активних речовин та інгібіторів корозії. Разом із зовнішньо-мастильною дією адсорбційних плівок ці рідини в певних умовах можуть виконувати "внутрішньо-мастильну" дію. Поверхнево-активні речовини, що входять до складу мастильно-охолодних рідин, проникають у зону деформації по площинах ковзання окремих зерен оброблюваного матеріалу й полегшують процес пластичної деформації зрізуваного шару. Продукти розпаду адсорбованих поверхнево-активних речовин проникають у кристалічні решітки найбільш деформованих зерен оброблюваного матеріалу й додають йому більшої крихкості. Таке обкрихчування приводить до зменшення перед руйнуванням величини граничної пластичної деформації зрізуваного шару та, як наслідок, до зменшення роботи різання.

Позитивний вплив технологічних середовищ на процеси різання й зношування різального інструмента можливий лише за умови їх проникнення на поверхні контакту інструмента з оброблюваним матеріалом. При низьких швидкостях різання такий контакт не є суцільним, і вся його зона поцяткована дрібними порами — капілярами, розміром від частки мікрметра до декількох десятків мікрметрів.

Періодичне гальмування й зупинка окремих об'ємів шару зрізуваного матеріалу на поверхні інструмента спричиняють утворення вакуумних порожнин, які сприяють проникненню мастильної рідини чи іншого технологічного середовища в зону різання й формуванню мастильних шарів на поверхнях контакту інструмента з оброблюваним матеріалом. Вакуумні порожнини також можуть утворюватись унаслідок часткового руйнування наросту на різальній частині інструмента. Окремі елементи типової стружки сколення розділені між собою наскрізними капілярами. При утворенні зливної стружки такі елементи помітні слабо, але капілярні у них теж мають місце. Наявність капілярів і порожнин, що утворюються під час різання, сприяє заповненню навколорізальної зони технологічним середовищем. Таким шляхом воно надходить до поверхні контакту інструмента з оброблюваним матеріалом.

Вирішення питання про застосування технологічних середовищ при різанні здійснюється двома шляхами, а саме: синтезуванням ефективних мастильно-охолодних рідин; розробкою нових способів їх подачі в зону різання; створенням принципово нових технологічних середовищ.

Ефективність будь-якого технологічного середовища можна оцінити коефіцієнтом збільшення стійкості інструменту [10], який є відношенням періоду стійкості різального інструменту при застосуванні технологічного середовища з певним способом його подачі до періоду стійкості при різанні в середовищі атмосферного повітря. Чим ефективніше середовище й метод його подачі, тим більше значення цього коефіцієнта.

Зазвичай застосування мастильно-охолодних рідин характеризується коефіцієнтом збільшення стійкості інструмента в межах 1,5—2,0. Проте, існують особливості обробки високоміцних, важкооброблюваних матеріалів і жароміцних сталей. У цьому разі може виявитись, що мастильна дія, яка позитивно впливає на процес різання й зменшує зношення інструменту, цілком нівелюється охолодною дією, яка підвищує механічні властивості оброблюваного матеріалу, навпаки викликаючи інтенсивніше зношування інструменту. Можливими шляхами підвищення стійкості інструменту або продуктивності обробки таких матеріалів може бути застосування локального поверхневого нагрівання заготовки для зниження механічних характеристик оброблюваного матеріалу та заміна, наприклад, точіння фрезеруванням для поліпшення температурних умов для різальної частини інструменту.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ Й ЗАВДАННЯ

Ця частина містить контрольні питання й завдання до кожного розділу навчального посібника. Вона сприятиме більш ефективному опрацюванню й засвоєнню студентами навчального матеріалу, що містить ця книга, та формуванню практичних прийомів і навичок стосовно розв'язання реальних задач, пов'язаних із розробкою технологічних процесів механічної обробки.

Наведені контрольні завдання базуються на типових маршрутних технологічних процесах механічної обробки в умовах середньосерійного виробництва. Вони є наочним засобом формування уявлень студентів про принципи побудови технологічних процесів обробки, формулювання змісту технологічних операцій, а також про застосовуване обладнання, оснащення й приладдя.

Питання до розділу 1

1. Які принципи є основою для розробки технологічного процесу?
2. Чому проектування технологічних процесів характеризується багатоваріантністю?
3. Які стадії можна виділити при проектуванні технологічного процесу?
4. З яких етапів складається процес проектування технології механічної обробки?
5. Які початкові дані необхідні для проектування технологічних процесів обробки?
6. Для чого необхідне робоче креслення?
7. Які відомості містять технічні умови?
8. Що дозволяє визначити виробнича програма?
9. За яким критерієм визначається тип виробництва?
10. З якою метою визначають тип виробництва?
11. У чому полягають критерії оптимізації технологічних процесів?
12. Від чого залежить ступінь деталізації розроблюваного технологічного процесу?
13. Які фактори визначають тип виробництва?
14. Які існують типи виробництва?
15. Які фактори необхідно враховувати при виборі методу одер-

жання заготовки?

16. Який показник використовують при виборі заготовки?

17. На які види за методом одержання поділяють заготовки?

18. Якими методами одержують ливарні заготовки?

19. Якими методами одержують заготовки для тонкостінних об'єктових деталей?

20. Які види профілів з алюмінієвих сплавів одержують пресуванням?

21. У чому полягають особливості заготовок із металокераміки, пластмас і композиційних матеріалів?

22. Що розуміють під точністю виготовлення в машинобудуванні?

23. Для чого застосовуються квалітети точності та якими параметрами вони характеризуються?

24. Від яких факторів залежить ступінь точності вимірювань?

25. Які фактори впливають на якість оброблюваної поверхні?

26. Які елементи режиму різання впливають на кінцеву шорсткість поверхні?

27. На які види розподіляють обробку різцями?

28. Які розрізняють види фрезерування?

29. З якою метою застосовують послідовну обробку отворів свердлінням, розсвердлюванням, зенкеруванням і розгортанням?

30. Для чого застосовують зенкерування отворів?

31. Для чого застосовують розгортання отворів?

32. У яких випадках застосовують протягування та прошивання?

33. Які розрізняють види шліфування?

34. Для чого застосовують хонінгування, суперфінішування й притирання?

35. Що називають маршрутною технологією або маршрутним технологічним процесом?

36. Яку задачу вирішує розробка маршрутної технології?

37. За якими принципами визначають кількість операцій у маршрутній технології?

38. У яких випадках застосовують метод концентрації операцій?

39. На якому принципі оснований метод диференціації операцій?

40. За якими критеріями будується послідовність операцій у маршрутному технологічному процесі?

41. Що називають верстатною системою, з яких елементів вона складається?

42. За якими критеріями вибирають технологічне устаткування?
43. За якими ознаками класифікують металорізальні верстати?
44. Як у загальному випадку здійснюють базування заготовки?
45. Що називають базою та комплектом баз?
46. Чим відрізняється конструкторська база від технологічної?
47. За яким правилом виконується базування, в чому воно полягає?
48. Що називають технологічним пристроєм?
49. За якими критеріями класифікують загальні технологічні пристрої та, зокрема, верстатні?
50. З яких основних конструктивних елементів складаються технологічні пристрої?
51. За якими критеріями вибирають верстатні пристрої?

Питання до розділу 2

1. Які поверхні утворюються різальною частиною інструменту під час механічної обробки?
2. Які рухи є необхідними для здійснення процесу різання?
3. Які параметри характеризують інтенсивність процесу різання?
4. З яких елементів складається режим різання?
5. Якими умовами визначається форма поперечного перерізу зрізаного шару матеріалу?
6. Які характеристики визначають продуктивність обробки різанням?
7. У яких умовах відбувається вільне різання?
8. Чим характеризується невільне різання?
9. Які фактори необхідно враховувати під час призначення режимів механічної обробки?
10. Що називають оптимальним режимом різання?
11. У якій послідовності призначають елементи режиму різання?
12. Які фактори є обмежувальними для призначення глибини різання й подачі?
13. За якими формулами обчислюється швидкість різання?
14. Які параметри впливають на значення швидкості різання?
15. Що таке стійкість інструмента?
16. Як враховується збільшення стійкості інструменту при багатопристрійній обробці?

17. Які параметри впливають на силу різання?
18. За якими елементами режиму різання виконують вибір устаткування?
19. Які елементи режиму різання впливають на основний технологічний час і собівартість обробки?
20. У яких випадках застосовують інструмент із швидкорізальної сталі, а в яких із твердого сплаву?

Питання до розділу 3

1. Які рухи є необхідними для здійснення процесу точіння?
2. Які види робіт можна виконувати методом точіння?
3. З яких елементів складається різальна частина токарного різця?
4. Які кути різальної частини токарного різця визначають у статичній системі координат, що вони характеризують?
5. З якою метою застосовується кінематична система координат?
6. За яких умов призначають глибину різання при точінні?
7. Які фактори є обмежувальними при виборі подачі для точіння?
8. Як впливають стійкість інструмента, глибина різання й подача на швидкість різання при точінні?
9. Як величина подачі впливає на шорсткість оброблюваної поверхні?
10. Який вплив чинить кожна зі складових сили різання при точінні?
11. Як впливають геометричні параметри різальної частини інструмента на значення складових сили різання при точінні?
12. Як впливає твердість оброблюваної заготовки на швидкість різання?
13. З якою метою та за яким співвідношенням розраховують ефективну потужність різання при точінні?
14. Як розраховується основний технологічний час для операцій токарної обробки?

Питання до розділу 4

1. Які рухи є необхідними для здійснення процесів свердління, зенкерування й розгортання?
2. З якою метою після свердління виконують зенкерування й розгортання?
3. Чим зумовлені особливості процесу свердління порівняно з іншими методами обробки різанням?
4. З яких конструктивних елементів складається спіральне свердло?
5. Якими геометричними параметрами характеризується різальна частина спірального свердла?
6. Як визначається глибина різання при свердлінні та розсвердлюванні?
7. Які фактори впливають на вибір значення подачі при свердлінні?
8. Якими параметрами визначається швидкість різання при свердлінні?
9. Який параметр додатково впливає на швидкість різання при розсвердлюванні, зенкеруванні й розгортанні порівняно із свердлінням?
10. Які фактори визначають період стійкості свердел, зенкерів і розгортків?
11. Як впливає глибина оброблюваного отвору на швидкість різання?
12. З якою метою та за якими співвідношеннями розраховують крутний момент і осьову складову сили різання для обробки отворів?
13. З якою метою та за якими співвідношеннями розраховують ефективну потужність різання для обробки отворів?
14. Які елементи режиму різання додатково розраховуються для зенкерування й розгортання отворів?
15. Як розраховується основний технологічний час для операцій обробки отворів?

Питання до розділу 5

1. Для яких видів поверхонь застосовується обробка фрезеруванням?
2. Які рухи є необхідними для здійснення процесу фрезерування?

3. Якими способами може виконуватись фрезерування?
4. У яких випадках доцільно застосовувати попутне фрезерування?
5. Які види робіт можна виконувати фрезеруванням?
6. Якими геометричними елементами характеризується різальна частина фрези?
7. Від яких параметрів залежить плавність роботи фрези?
8. Як розраховується кут контакту фрези?
9. Які існують типи фрез і чим визначається галузь їх застосування?
10. Яке співвідношення має бути між шириною фрези та її діаметром при торцевому фрезеруванні?
11. Яких правил необхідно дотримуватись при фрезеруванні сталевих заготовок?
12. За якими критеріями призначають глибину різання при фрезеруванні?
13. Який елемент режиму різання визначає глибина й ширина фрезерування?
14. Які види подач застосовуються для призначення режимів різання при фрезеруванні, як вони співвідносяться між собою?
15. Якими параметрами та за якими співвідношеннями визначається швидкість різання при фрезеруванні?
16. Які складові сили різання діють при фрезеруванні?
17. Якими параметрами та за яким співвідношенням визначається головна складова сили різання при фрезеруванні?
18. За якими співвідношеннями розраховують крутний момент при фрезеруванні?
19. За якими співвідношеннями розраховують ефективну потужність різання при фрезеруванні?
20. Як розраховується основний технологічний час для операцій фрезерування?

Питання до розділу 6

1. Якими інструментами виконують розрізування матеріалів?
2. Як призначається подача при розрізуванні?
3. Як механічні властивості розрізуваного матеріалу впливають на швидкість різання?
4. Як розраховується основний технологічний час для операцій розрізування?

Питання до розділу 7

1. Які галузі застосування основних видів різьб?
2. Як класифікують різьби?
3. Які види різьб мають спеціальне призначення?
4. Якими способами можна утворювати різьбові поверхні?
5. Яке обладнання і в яких випадках застосовується для одержання різьбових поверхонь?
6. Як здійснюється нарізування різьб на токарних верстатах?
7. Як здійснюється вихрове нарізування різьб?
8. Як здійснюється нарізування різьб плашками й різьбонарізними головками?
9. Як здійснюється нарізування різьб мітчиками?
10. Як здійснюється фрезерування різьбових поверхонь?
11. З якою метою застосовується шліфування різьб?
12. Як визначається глибина різання й подача при нарізуванні різьб?
13. Від чого залежить кількість робочих ходів при нарізуванні різьб нарізними різцями?
14. За якими схемами може здійснюватись процес нарізування профілю різьби?
15. Як призначається подача при вихровому нарізуванні різьб?
16. Які параметри визначають подачу при фрезеруванні різьб гребінчастими фрезами?
17. Якими параметрами та за якими співвідношеннями визначається швидкість різання при різьбонарізуванні?
18. За яким співвідношенням визначається сила різання при різьбонарізуванні?
19. Які параметри впливають на значення крутного моменту при різьбонарізуванні?
20. За якими співвідношеннями розраховують ефективну потужність різання при різьбонарізуванні?
21. Як розраховується основний технологічний час для операцій різьбонарізування?

Питання до розділу 8

1. Для обробки яких поверхонь застосовується протягування й прошивання?

2. Яка принципова різниця між процесами протягування й прошивання?
3. З якою метою обмежується максимальна довжина прошивки?
4. З яких конструктивних елементів складається різальна частина протяжок прогресивного різання?
5. Які конструктивно-технологічні переваги та недоліки властиві протяжкам профільного різання порівняно з протяжками прогресивного різання?
6. Яка галузь застосування протяжок із гвинтовим зубом?
7. Які технологічні особливості властиві процесу протягування глибоких отворів?
8. З яких елементів складається режим різання при протягуванні й прошиванні?
9. Як розраховується сумарний периметр різання при протягуванні?
10. Чим визначається подача при протягуванні?
11. Як впливає твердість оброблюваного матеріалу на швидкість різання при протягуванні?
12. Як досягається необхідна шорсткість оброблюваної поверхні при протягуванні?
13. Як розраховується сила різання при протягуванні?
14. З яких співвідношень розраховується основний технологічний час при протягуванні?

Питання до розділу 9

1. Які переваги надають програмні комплекси для розрахунку режимів різання?
2. Які основні архітектурні властивості повинен мати програмний комплекс для гнучкої адаптації під певні задачі?
3. З яких етапів складається процес уведення даних та розрахунку елементів режиму різання за допомогою програмного комплексу?
4. За яким принципом здійснюється зберігання та обробка даних, що містить програмний комплекс?

Питання до розділу 10

1. З якою метою здійснюється нормування технологічних операцій?

2. У якій послідовності виконується розрахунок часу на обробку?
3. З яких елементів складається норма штучного часу на обробку?
4. Що називають операційним часом, із яких часток він складається?
5. Які дії виконують протягом допоміжного часу?
6. Як розраховується штучно-калькуляційний час?
7. Як у розрахунках штучно-калькуляційного часу враховується час на технічне й організаційне обслуговування, відпочинок і персональні потреби?

Питання до розділу 11

1. Які особливості має методика призначення режимів різання для багатоінструментальної обробки?
2. З якою метою розробляють наладку для багатоінструментальної токарної обробки, що вона має забезпечити?
3. Які особливості призначення подачі для багатоінструментальної токарної обробки?
4. За яким параметром вибирають лімітуючий інструмент?
5. Які особливості визначення швидкості різання для багатоінструментальної токарної обробки?
6. Чому матеріал лімітуючого інструмента повинен мати більші ріжучі властивості?
7. З якою метою для агрегатних верстатів і автоматичних ліній знижують режими різання та на який відсоток?
8. За якою схемою призначають режими різання для багатошпіндельних верстатів?
9. З яких елементів складається довжина робочого ходу інструмента?
10. З якою метою після визначення швидкостей різання перераховують вибрані подачі?
11. Як призначається подача силової головки агрегатного верстата?
12. У якій послідовності виконується нормування агрегатних операцій?
13. Які особливості нормування операцій для багатопозиційних верстатів?

Питання до розділу 12

1. Як впливає навколишнє атмосферне повітря на процес різання?
2. Чому в умовах вакууму процес різання значно ускладнюється?
3. З якою метою застосовують штучні технологічні середовища, на що спрямована їхня дія?
4. Які дії виконують мастильно-охолодні рідини, у чому полягають ці дії?
5. Які функції виконують мастильно-охолодні рідини?
6. Які групи мастильно-охолодних рідин застосовуються при різанні?
7. З яких компонентів складаються масляні мастильно-охолодні рідини?
8. З яких компонентів складаються водні емульсії?
9. З яких компонентів складаються синтетичні мастильно-охолодні рідини?
10. Як можна оцінити ефективність будь-якого технологічного середовища?
11. Чому під час обробки високоміцних, важкооброблюваних і жаростійких матеріалів застосування мастильно-охолодних рідин може бути недоцільним?

Контрольні завдання

1. Для стопора (рис. 13.1), керуючись технологічним процесом його виготовлення (табл. 56), визначте конструкторські, технологічні й вимірювальні бази, перевірте дотримання принципів єдності та суміщення баз.
2. Для втулки (рис. 13.2), керуючись технологічним процесом її виготовлення (табл. 57), визначте конструкторські, технологічні й вимірювальні бази, перевірте дотримання принципів єдності та суміщення баз.
3. Для планки (рис. 13.3), керуючись технологічним процесом її виготовлення (табл. 58), визначте конструкторські, технологічні й вимірювальні бази, перевірте дотримання принципів єдності та суміщення баз.
4. Для зубчастого колеса (рис. 13.4), керуючись технологічним процесом його виготовлення (табл. 59), визначте конструкторські, тех-

нологічні й вимірювальні бази, перевірте дотримання принципів єдності та суміщення баз.

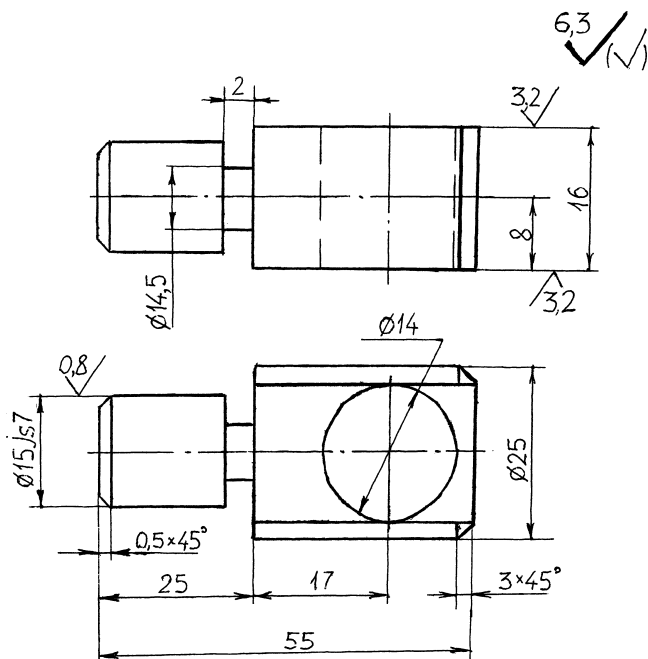


Рис. 13.1. Креслення стопора:

1. Заготовкою є прокат калібрований $\varnothing 26$ мм із матеріалу сталь 45.
2. Кількість деталей із заготовки — 30 шт.
3. Незазначені граничні відхилення: $h14$ для валів, $H14$ для отворів, $IT14/2$ для інших розмірів.

5. Для стопора (рис. 13.1), керуючись технологічним процесом його виготовлення (табл. 56), розробіть технологічні наладки операцій 025, 030, 040, позначте конструкторські й вимірювальні бази.

6. Для втулки (рис. 13.2), керуючись технологічним процесом її виготовлення (табл. 57), розробіть технологічні наладки операцій 020, 035, 040, позначте конструкторські й вимірювальні бази.

7. Для планки (рис. 13.3), керуючись технологічним процесом її виготовлення (табл. 58), розробіть технологічні наладки операцій 015, 030, 045, позначте конструкторські й вимірювальні бази.

8. Для зубчастого колеса (рис. 13.4), керуючись технологічним процесом його виготовлення (табл. 59), розробіть технологічні наладки операцій 015, 020, 025, позначте конструкторські й вимірювальні бази.

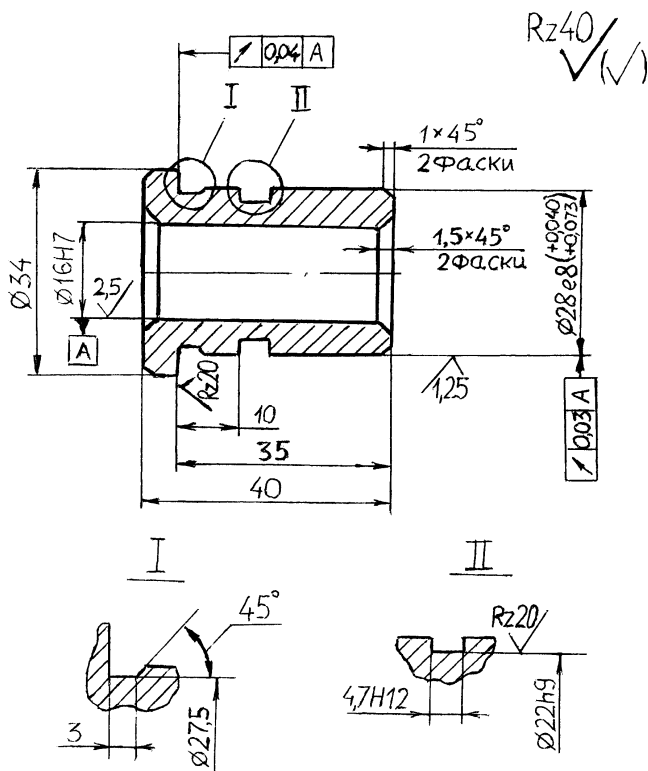


Рис. 13.2. Креслення втулки:

1. Заготовкою є прокат калібрований Ø34 мм із матеріалу сталь 45.
2. Кількість деталей із заготовки — 43 шт.
3. Незазначені граничні відхилення: $h14$ для валів, $H14$ для отворів, $IT14/2$ для інших розмірів.

9. Керуючись технологічним процесом виготовлення стопора (табл. 56), визначте, яке устаткування є універсальним, а яке — спеціальним.

10. Керуючись технологічним процесом виготовлення втулки (табл. 57), визначте, яке устаткування є універсальним, а яке — спеціальним.

Технологічний процес обробки стопора (рис. 13.1)

№ операції	Найменування операції та її зміст	Устаткування, модель	Приладдя
1	2	3	4
005	Заготівельна Правити пруток	прес И5525	—
010	Заготівельна Рубати пруток Ø26 мм розміром 3000 мм	прес KB9534	—
015	Заготівельна Обробити кінці прутка фасками під кутом 20°	верстат токарний ХС-151	—
020	Токарна Точити шийку $\varnothing 15,7 \begin{smallmatrix} +0,046 \\ +0,028 \end{smallmatrix}$ мм під шліфування. Точити шийку $\varnothing 25$ мм. Точити канавку 2 мм. Точити фаску $0,5 \times 45^\circ$. Відрізати заготовку, дотримуючись розміру 55,5 мм	автомат токарний 1Е140П	наладка групова, патрон цанговий
025	Токарна Підрізати другий торець, дотримуючись розміру 55 мм. Точити фаску $3 \times 45^\circ$	верстат токарний 16Т02П	патрон цанговий
030	Фрезерна Фрезерувати дві лиски, додержуючись розміру 16 мм	верстат вертикально-фрезерний 6Т10	пристрій, наладка
035	Слюсарна Зачистити задирки	машина вібраційна ВМПВ-100	—
040	Свердильна Свердлити отвір Ø14 мм крізь кондуктор	верстат вертикально-свердильний 2Н125-1	кондуктор
045	Слюсарна Притупити гострі краї	машина вібраційна ВМПВ-100	—

1	2	3	4
050	Шліфувальна Шліфувати шийку Ø15 _{h7} мм	верстат безцентрово- шліфувальний 3М182	—
055	Миття Промити деталь.	машина мийна	—
060	Маркування Повісити бирку з позначенням деталі	—	—
065	Технічний контроль	плита (ГОСТ 10905–75)	—
070	Нанесення антикорозійного покриття		

Технологічний процес обробки втулки (рис. 13.2)

№ операції	Найменування операції та її зміст	Устаткування, модель	Приладдя
1	2	3	4
005	Заготівельна Правити прутки	прес И5526	—
010	Заготівельна Відрізати групу заготовки Ø34 мм розміром 2000 мм	верстат абразивно- відрізний 8Б242	пристрій підтримувальний
015	Заготівельна Обробити кінці прутка фасками під кутом 20°	верстат токарний ХС-151	—

1	2	3	4
020	Агрегатна Центрувати торець заготовки під свердління. Свердлити й зенкерувати отвір $\varnothing 16H7^{(+0,11)}$ мм під розгортання. Точити поверхню $\varnothing 28e8$ до $\varnothing 28,4_{(-0,13)}$ мм під шліфування. Точити канавки 3 мм й 4,7H12 мм. Точити фаски $1 \times 45^\circ$ і $1,5 \times 45^\circ$. Відрізати заготовку, дотримуючись розміру 40,5 мм	автомат токарний 1E140П	наладка
025	Миття Промити деталь	машина мийна	—
030	Маркування Повісити на ґару бирку з номером деталі	—	—
035	Агрегатна Підрізати другий торець заготовки до розміру 40 мм. Точити фаски $1 \times 45^\circ$ і $1,5 \times 45^\circ$. Розгорнути отвір $\varnothing 16H7^{(+0,018)}$ мм	верстат токарно- револьверний 1ПЗ40ПЦ	патрон цанговий, вкладиш
040	Шліфувальна Шліфувати поверхню $\varnothing 28e8^{(+0,040)}$ мм. Остаточно шліфувати торець	верстат кругло- шліфувальний 3М153Е	оправка, центри, хомутник, прилад активного контролю
045	Миття Промити деталь	машина мийна	—
050	Технічний контроль	плита (ГОСТ 10905–75)	—
055	Нанесення покриття		

Технологічний процес обробки планки (рис. 13.3)

№ операції	Найменування операції та її зміст	Устаткування, модель	Приладдя
1	2	3	4
005	Заготівельна Відрізати заготовку від смуги	автомат абразивно-відрізний 8B262	лещата
010	Маркування Повісити на тару бирку з номером деталі	—	—
015	Фрезерувальна Фрезерувати дві поверхні, дотримуючись розміру $D(+0,3)$, під шліфування та дві поверхні, дотримуючись розміру B , остаточно	верстат вертикально-фрезерний 6Т12	гідролещата, наладка двопозиційна
020	Фрезерувальна Фрезерувати два торці, дотримуючись розміру B , остаточно	верстат горизонтально-фрезерний 6Т82М	пристрій універсально-переналагоджуваний з гідрозатискачем
025	Слюсарна Зачистити задирки після фрезерування	машина вібраційна ВМПВ-100	—
030	Шліфувальна Шліфувати дві поверхні, дотримуючись розміру D , остаточно	верстат плоскості-шліфувальний 3П722ДВ	плита магнітна
035	Слюсарна Зачистити задирки й притупити гострі краї	машина вібраційна ВМПВ-100	—
040	Агрегатна Остаточно фрезерувати два виступи, дотримуючись розмірів T, X, C . Свердлимо отвір $\varnothing H$. Остаточно розточити і розгортнути отвір $\varnothing A$. Остаточно фрезерувати паз $I \times II$. Свердлимо й зенкерувати отвір $\varnothing L$. Остаточно свердлимо й зенкерувати отвір $\varnothing M$	верстат із ЧПУ розточувально-свердильно-фрезерний з інструментальним магазином 2254ВМФ4	наладка універсально-переналагоджувана двопозиційна

1	2	3	4
045	Свердлильна Свердлити отвір Ø3 крізь кондуктор	верстат вертикально- свердильний 2Н125-1	кондуктор
050	Слюсарна Зачистити задирки	машина вібраційна ВМПВ-100	—
055	Миття Промити деталь	машина мийна	—
060	Технічний контроль	плита (ГОСТ 10905–75)	—
065	Хімічне окислювання		
070	Нанесення антикорозійного покриття		

Технологічний процес обробки зубчастого колеса (рис. 13.4)

№ операції	Найменування операції та її зміст	Устаткування, модель	Приладдя
1	2	3	4
010	Термічна обробка заготовки		
015	Агрегатна Підрізати торець А поперечно. Свердлити й зенкерувати наскрізний отвір Ø30h7 мм під протягування. Точити поверхню Ø60h11 мм до Ø62 мм. Точити і розточити фаски	напівавтомат із ЧПУ токарний КТ141	патрон трикулачковий
020	Протягувальна Протягнути отвір Ø30h7 мм до Ø30 мм	верстат протягувальний 7512	опора жорстка

1	2	3	4
025	Токарна Підрізати торці <i>A, B</i> попередньо під шліфування. Точити поверхні $\varnothing 60/11$ мм і $\varnothing 50$ мм остаточно	верстат токарно-гвинторізний 1ББ16	оправка спеціальна
030	Технічний контроль	плита (ГОСТ 10905–75)	—
035	Довбальна Довбати 28 зубів ($m = 2$) попередньо під шліфування	верстат зубодовбальний 5122В	—
040	Слюсарна Зачистити задирки по торцях зубів	напівавтомат одношпиндельний 56525	—
045	Протягувальна Протягнути шпонковий паз 6/8 мм остаточно	верстат протягувальний 7512	втулка напрямна
050	Слюсарна Зачистити задирки на шпонковому пазу	машина для зняття задирок	—
055	Миття Промити деталь	машина мийна	—
065	Термічна обробка		
070	Шліфувальна Шліфувати наскрізний отвір $\varnothing 30/17$ мм і торець <i>A</i> остаточно	верстат внутрішньо-шліфувальний 3А227АФ2	—
075	Шліфувальна Шліфувати торець <i>B</i> остаточно	верстат плоскошліфувальний 3Б740ВФ2	плита магнітна
080	Шліфувальна Шліфувати 28 зубів ($m = 2$) остаточно	верстат зубошліфувальний 5В833	оправка
085	Миття Промити деталь	машина мийна	—
090	Технічний контроль	плита (ГОСТ 10905–75)	—
095	Нанесення антикорозійного покриття		

11. Керуючись технологічним процесом виготовлення планки (табл. 58), визначте, яке устаткування є універсальним, а яке — спеціальним.

12. Керуючись технологічним процесом виготовлення зубчастого колеса (табл. 59), визначте, яке устаткування є універсальним, а яке — спеціальним.

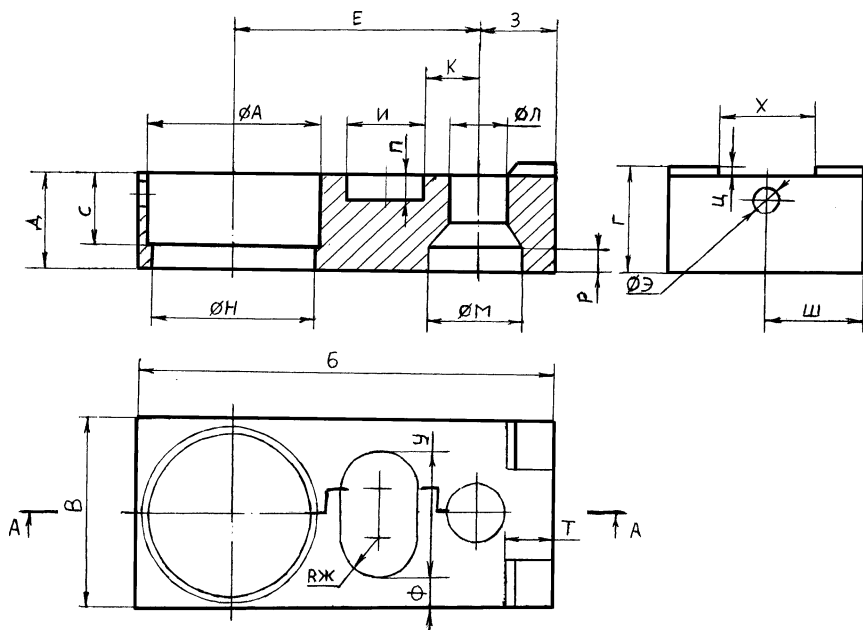


Рис. 13.3. Креслення планки:

1. Заготовкою є смуга.
2. Кількість деталей із заготовки — 1 шт.
2. Граничні відхилення: $h14$ для валів, $H14$ для отворів, $IT14/2$ для інших розмірів.

13. Розрахуйте режими різання та основний технологічний час для операції 020 (див. табл. 56, рис. 13.1). Виберіть різальний інструмент. Перевірте правильність вибору устаткування за довідником.

14. Розрахуйте режими різання та основний технологічний час для операції 025 (див. табл. 56, рис. 13.1). Виберіть різальний інструмент. Перевірте правильність вибору устаткування за довідником.

15. Розрахуйте режими різання та основний технологічний час для операції 030 (див. табл. 56, рис. 13.1). Виберіть різальний інструмент. Перевірте правильність вибору устаткування за довідником.

16. Розрахуйте режими різання та основний технологічний час для операції 040 (див. табл. 56, рис. 13.1). Виберіть різальний інструмент. Перевірте правильність вибору устаткування за довідником.

17. Розрахуйте режими різання та основний технологічний час для операції 020 (див. табл. 57, рис. 13.2). Виберіть різальний інструмент. Перевірте правильність вибору устаткування за довідником.

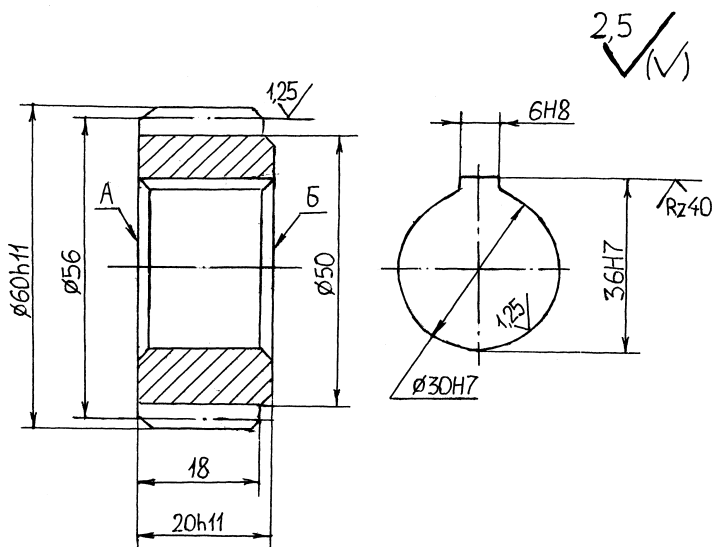


Рис. 13.4. Креслення зубчастого колеса:

1. Заготовкою є прокат із матеріалу сталь 40.
2. Кількість деталей із заготовки — 10 шт.
3. Торцеве биття поверхонь А та Б відносно осі не більше 0,02 мм.
4. Ступінь точності за ГОСТ 1643—81.
5. Фаски $1 \times 45^\circ$.

18. Розрахуйте режими різання та основний технологічний час для операції 035 (див. табл. 57, рис. 13.2). Виберіть різальний інструмент. Перевірте правильність вибору устаткування за довідником.

19. Розрахуйте режими різання та основний технологічний час для операції 015 (див. табл. 58, рис. 13.3). $D = 10$ мм, $B = 25$ мм, $B = 60$ мм, $T = 10$ мм. Матеріалом заготовки є сталь 45. Виберіть різальний інструмент. Перевірте правильність вибору устаткування за довідником.

20. Розрахуйте режими різання та основний технологічний час для операції 015 (див. табл. 58, рис. 13.3). $D = 15$ мм, $B = 40$ мм, $B = 90$ мм,

$T = 15$ мм. Виберіть різальний інструмент. Матеріалом заготовки є сталь 40. Перевірте правильність вибору устаткування за довідником.

21. Розрахуйте режими різання та основний технологічний час для операції 020 (див. табл. 58, рис. 13.3). $D = 10$ мм, $B = 60$ мм. Матеріалом заготовки є алюмінієво-магнієвий сплав АМг6НН. Виберіть різальний інструмент. Перевірте правильність вибору устаткування за довідником.

22. Розрахуйте режими різання та основний технологічний час для операції 020 (див. табл. 58, рис. 13.3). $D = 15$ мм, $B = 90$ мм. Матеріалом заготовки є жаростійка сталь 12Х18Н10Т. Виберіть різальний інструмент. Перевірте правильність вибору устаткування за довідником.

23. Розрахуйте режими різання та основний технологічний час для операції 045 (див. табл. 58, рис. 13.3). $\Delta = 3$ мм. Знайдіть помилки в кресленні деталі. Матеріалом заготовки є нержавіюча сталь 12Х18Н9Т. Виберіть різальний інструмент. Перевірте правильність вибору устаткування за довідником.

24. Розрахуйте режими різання та основний технологічний час для операції 045 (див. табл. 58, рис. 13.3). $\Delta = 6$ мм. Знайдіть помилки в кресленні деталі. Матеріалом заготовки є алюмінієво-магнієвий сплав АМг6Н. Виберіть різальний інструмент. Перевірте правильність вибору устаткування за довідником.

25. Розрахуйте режими різання та основний технологічний час для операції 015 (див. табл. 59, рис. 13.4). Виберіть різальний інструмент. Перевірте правильність вибору устаткування за довідником.

26. Розрахуйте режими різання та основний технологічний час для операції 020 (див. табл. 59, рис. 13.4). Виберіть різальний інструмент. Перевірте правильність вибору устаткування за довідником.

27. Розрахуйте режими різання та основний технологічний час для операції 025 (див. табл. 59, рис. 13.4). Виберіть різальний інструмент. Перевірте правильність вибору устаткування за довідником.

28. Розрахуйте режими різання та основний технологічний час для операції 045 (див. табл. 59, рис. 13.4). Виберіть різальний інструмент. Перевірте правильність вибору устаткування за довідником.

29. На рис. 13.5 наведена схема обробки вільної поверхні ступінчастого вала на токарному верстаті. Розрахуйте основний технологічний час на обробку за таких умов: $l = 300$ мм; $l_2 = 2$ мм; $t = 3$ мм; головний кут у плані прохідного різця $\phi = 45^\circ$; $n = 600$ об/хв; $S = 0,3$ мм/об.

30. На рис. 13.5 наведена схема обробки вільної поверхні ступінчастого вала на токарному верстаті. Розрахуйте основний технологічний

час на обробку за таких умов: $l = 400$ мм; $l_2 = 5$ мм; $t = 5$ мм; головний кут у плані прохідного різця $\varphi = 45^\circ$; $n = 600$ об/хв; $S = 0,1$ мм/об.

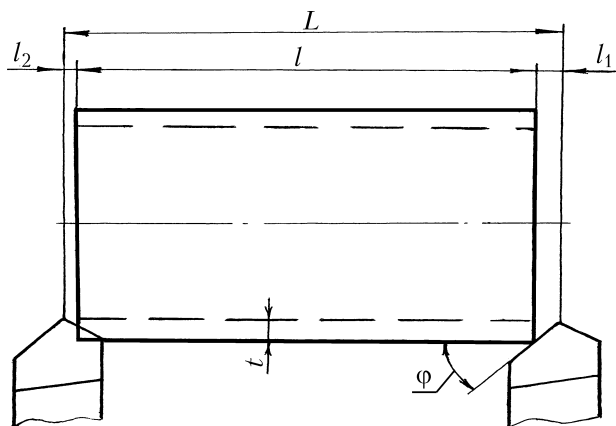


Рис. 13.5 Схема обробки вільної поверхні ступінчастого вала

31. На рис. 13.6. наведена схема обробки зовнішньої та внутрішньої різьбових поверхонь різцями на токарному верстаті. Виконайте таке:

а) розрахуйте режими різання та основний технологічний час для нарізування зовнішньої різьби $D = M42 \times 2$ й $l = 60$ мм, виберіть матеріал різальної частини інструмента, матеріал заготовки — сталь 45;

б) розрахуйте режими різання та основний технологічний час для нарізування внутрішньої різьби $D = M30 \times 1,5$ і $l = 50$ мм, виберіть матеріал різальної частини інструмента, матеріал заготовки — 14X17H2.

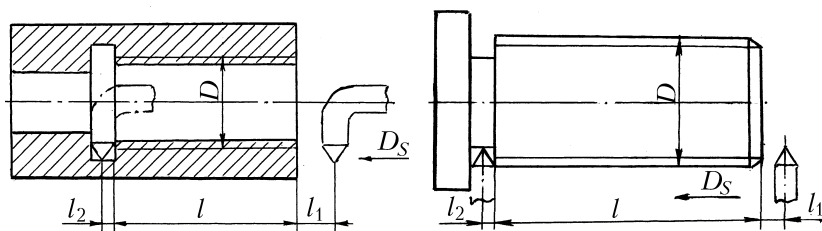


Рис. 13.6. Схема обробки різьбових поверхонь різцями

32. На рис. 13.7. подані креслення деталей, схема розташування шпинделів і наладка чотиришпиндельного верстата-автомата для одночасної обробки двох деталей. Усі позиції автомата мають індивіду-

альні супорти для поперечної обробки заготовок. Усі інструменти для поздовжнього точіння закріплюються на одному центральному супорті. Виберіть тип різальних інструментів, матеріали для їх різальних частини і розрахуйте режими різання для обробки деталей на цьому верстаті. Обидві заготовки з прокату, матеріал – сталь 45. Глибина за-свердлення в другій позиції визначається з урахуванням утворення фаски $1 \times 45^\circ$ на $\varnothing 8,5$ мм, а кут при вершині свердла становить 90° .

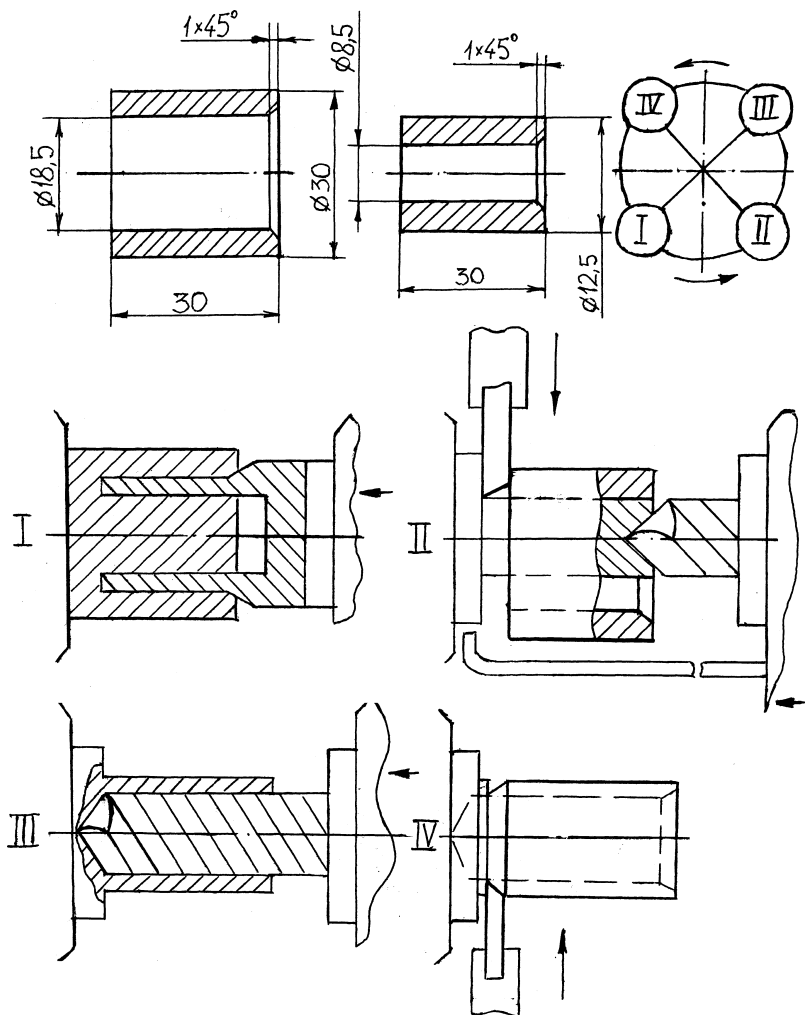


Рис. 13.7. Креслення деталей, схема розташування шпинделів і наладка чотиришпиндельного верстата-автомата

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. / Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1985. — Т. 1. — 656 с.; Т. 2. — 496 с.
2. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок: Підручник. — Л.: Світ, 1996. — 216 с.
3. Казаков Н. Ф., Осокин А. М., Шишкова А. П. Технология металлов и других конструкционных материалов: Учеб. пособ. — М.: Металлургия, 1975. — 688 с.
4. Основы технологии машиностроения / Под ред. В. С. Корсакова. 3-е изд., доп. и перераб.: Учебник для вузов. — М.: Машиностроение, 1977. — 416 с.
5. Лавриненко М. З. Технология машиностроения и технологические основы автоматизации: Учебник для вузов. — К.: Вища шк., 1982. — 320 с.
6. Шевчук Д. І., Убизький М. М., Ткачов Ю. В. Виробництво профілів із алюмінієвих сплавів: Навч. посіб. — Д.: РВВ ДДУ, 1999. — 64 с.
7. Тарзиманов Г. А. Проектирование металлорежущих станков. — М.: Машиностроение, 1972. — 328 с.
8. Резание: технология, оснастка, инструмент / М. А. Прялин, В. М. Кульчев, М. Л. Урицкий, В. М. Ефремов, В. П. Бодриков. — Д.: Промінь, 1985. — 183 с.
9. Буц Б. Д., Приходько В. Є., Ткачов Ю. В. Розрахунок режимів різання металів: Навч. посіб. — Д.: РВВ ДНУ, 2005. — 76 с.
10. Макаров А. Д. Оптимизация процессов резания. — М.: Машиностроение, 1976. — 278 с.
11. Обработка металлов резанием / Под ред. А. А. Панова: Справочник технолога. — М.: Машиностроение, 1988. — 736 с.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

Б

багатоінструментальна обробка, 126
база, 26
вимірювальна, 27
комплект баз, 26
конструкторська, 27
технологічна, 27
установлювальна, 27
базування, 26

В

відборткування, 10
відрізання, 47
верстатна система, 22
вибір заготовки, 8
вибір устаткування, 22
видавлювання, 10
види заготовок, 8
вирізання, 10
виробництво, 6
великосерійне, 7
вибір типу, 6
дрібносерійне, 7
масове, 7
одиничне, 6
серійне, 7
середньосерійне, 7
виробнича програма, 6
вирубання, 10
витягування, 10
ВПД, 14, 24, 36, 77

Г

глибина різання,
31, 35, 52, 67, 102, 115

Д

допоміжний час, 122, 130, 131

Е

ефективна потужність різання,
60, 75, 93, 109

З

згинання, 10
зенкер, 64, 65

зенкерування, 64

К

квалітет точності, 13
коефіцієнт використання матеріалу, 8
копіювальне точіння, 47
креслення заготовки, 5
крутний момент, 73, 91, 107
кування, 10

Л

лиття, 8
в земляні або піщані форми, 8
відцентрове, 9
за виплавними моделями, 9
кокільне, 9
коркове, 10
під тиском, 9

М

маршрутна технологія, 21
маршрутний технологічний процес, 21
масове виробництво, 7
мастильно-охолодні рідини, 132
групи, 133
дія, 132
ефективність, 135
застосування, 134
функції, 133
машинний час, 130, 131
машинобудування, 3
металорізальний верстат, 22
з ЧПУ, 25
класифікація, 23
позначення моделей, 24
методи одержання заготовок, 6, 8
механічна обробка, 3

Н

нормування операцій, 122, 130

О

обробка різанням, 3
обсяг випуску, 6
обточування, 47
одиничне виробництво, 6
оптимізація технологічних процесів, 6

основний технологічний час,
35, 60, 75, 98, 95, 109, 113, 123, 130, 131

П

підрізання, 47
площа зрізу, 32
поверхня
 оброблена, 30
 оброблювана, 30
різання, 30
подача,
 31, 36, 52, 64, 67, 79, 94, 102, 112, 115
пресовані профілі, 11
пресування, 11
принцип
 диференціації, 21
 концентрації, 21
продуктивність, 33, 131
проектування технологічного процесу,
 4, 5
прокатування, 11
протягування, 3, 109, 115
 елементи різання, 111
 периметр різання, 111
протяжка, 109, 110
 з гвинтовим зубом, 111
 прогресивного різання, 110
 профільного різання, 111
прошивання, 109
прошивка, 109, 110

Р

різання
 багатолезове, 34
 безперервне, 34
 вільне, 33
 випадки, 33, 34
 косокутне, 34
 невільне, 33
 однолезове, 34
 оптимальний режим, 35
 переривчасте, 34
 прямокутне, 34
 ускладнене, 33
різець, 47
 відрізний, 47
 геометричні параметри, 48
 елементи різальної частини, 48
 кінематичні кути, 51
 розточувальний, 47

статичні кути, 50
токарний, 47, 48
фасонний, 47

різьба, 96
 вихрове нарізування, 99
 кріпильна, 96
 накатування, 96
 нарізування, 96
 нарізування мітчиками, 99, 100
 нарізування плашками, 100
 спеціального призначення, 96
фрезерування, 100
 ходова, 96
 шліфування, 101
різьбонарізування, 96, 115
робоче креслення, 5
розгортання, 64
розгортка, 64, 65
розкроювання, 10
розрізування, 94, 115
розточування, 47
рух
 головний, 31, 47, 64
 подачі, 31, 47, 64
 результуючий, 31

С

свердління, 3, 64, 115
свердло, 64, 65
 параметри різальної частини, 66
 складові частини, 65
серійне виробництво, 7
сила різання,
 41, 58, 73, 91, 107, 113
сортний прокат, 11
стійкість інструменту, 40, 69
стругання, 3

Т

технічні умови, 4, 5
технологічний пристрій, 27
 верстатний, 28
 вибір, 28
 елементи, 28
 класифікація, 27
 спеціалізований, 29
 спеціальний, 29
 універсальний, 29
тип виробництва, 6
товщина зрізу, 31

точіння, 3, 47, 115
точність, 13
виготовлення, 13
вимірювання, 14
зенкерування, 17
квалітети, 13
обробки різанням, 13
полірування, 20
притирання, 20
протягування, 18
прошивання, 18
розгортання, 17
свердління, 17
суперфінішування, 20
точіння, 15
фрезерування, 16
хонінгування, 19
шліфування, 18
абразивними стрічками, 20

Ф

фасонне точіння, 47
фреза, 76
геометричні параметри, 77
елементи різальної частини, 77
кут контакту, 78

фрезерування, 3, 76, 100, 115
глибина, 79
зустрічне, 76
попутне, 76
ширина, 79

Ш

швидкість різання,
31, 40, 52, 69, 85, 94, 105, 112, 128
ширина зрізу, 31
шліфування, 3, 101
шорсткість поверхні, 14
штампування, 10
безоблойне, 10
гаряче, 10
листоє, 11
об'ємне, 10
облойне, 10
рельєфне, 10
холодне, 10
штучний час, 122, 130
штучно-калькуляційний час, 122

Я

якість поверхні, 14

ЗМІСТ

Вступ	3
Розділ 1. Проектування технологічних процесів	
механічної обробки	4
1.1. Вибір типу виробництва	6
1.2. Вибір заготовки та методу її одержання	8
1.3. Вибір методів механічної обробки. Забезпечення необхідної точності та якості поверхонь	13
1.4. Принципи розробки маршрутного технологічного процесу	21
1.5. Вибір устаткування. Класифікація металорізального обладнання	22
1.6. Принципи базування заготовок	26
1.7. Критерії вибору й класифікація технологічних пристроїв	27

Розділ 2. Загальні відомості з теорії різання	30
2.1. Основні поняття, терміни й визначення	30
2.2. Основні випадки різання	33
2.3. Загальна схема призначення режимів різання	35
Розділ 3. Точіння	47
3.1. Геометричні параметри різальної частини різців	48
3.2. Призначення режимів різання	52
Розділ 4. Свердління, розсвердлювання, зенкерування, розгортання	64
4.1. Геометричні параметри інструментів	65
4.2. Призначення режимів різання	67
Розділ 5. Фрезерування	76
5.1. Геометричні параметри фрез	77
5.2. Призначення режимів різання	79
Розділ 6. Розрізування	94
Розділ 7. Різьбонарізування	96
7.1. Види різьб і методи їх утворення	96
7.2. Призначення режимів різання	102
Розділ 8. Протягування та прошивання	109
Розділ 9. Розрахунок і призначення режимів різання із застосуванням обчислювальної техніки	115
Розділ 10. Нормування операцій	122
Розділ 11. Особливості призначення режимів різання для багатоінструментальної обробки	126
11.1. Призначення режимів різання для токарних автоматів і напіваавтоматів	126
11.2. Призначення режимів різання для агрегатних верстатів і автоматичних ліній	128
11.3. Нормування агрегатних операцій	130
Розділ 12. Характеристики й особливості застосування мастильно-охолодних рідин	132

Контрольні питання й завдання	136
Питання до розділу 1	136
Питання до розділу 2	138
Питання до розділу 3	139
Питання до розділу 4	140
Питання до розділу 5	140
Питання до розділу 6	141
Питання до розділу 7	142
Питання до розділу 8	142
Питання до розділу 9	143
Питання до розділу 10	143
Питання до розділу 11	144
Питання до розділу 12	145
Контрольні завдання	145
 Список рекомендованої літератури.....	159
 Предметний покажчик	160

Навчальне видання

Дідик Ростислав Петрович
Ткачов Юрій Валентинович
Олейниченко Віктор Григорович
Мелещик Володимир Адамович
Савостенко Андрій Валерійович

МЕТОДОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ І УМОВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

(Навчальний посібник)

Редактор О. Н. Ільченко

Підписано до друку 28.11.05. Формат 60×84/16. Папір друкарський.
Ризографія. Умов. друк. арк. 9,3. Обліково-видавн. арк. 10,8.
Тираж 200 прим. Зам. № .

Підготовлено до друку та видруковано в Національному гірничому
університеті, просп. К. Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 49027.
Свідцтво про внесення до Державного реєстру ДН №1842.