

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**КАФЕДРА ТЕХНОЛОГІЇ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ
ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА**

**ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ПРИНЦИПИ
ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ**

Методичні вказівки з дисципліни “Технологія машинобудування”
для студентів спеціальності (освітня програма)
133 «Галузеве машинобудування»

КИЇВ 2019

Наведені основні поняття і визначення з дисципліни: “Технологія машинобудування”, основи базування і принципи їх вибору, поняття точності механічної обробки і розглянуті фактори, які впливають на точність, а також основні похибки, що виникають при обробці заготовок

Затверджено вченою радою факультету конструювання та дизайну
Національного університету біоресурсів і природокористування України
(протокол № 4 від «19» листопада 2019 р.)

Укладачі: О.Є. Семеновський , Г.М Похиленко.

Рецензенти: В.М. Рибалко, В.В. Яременко

Навчальне видання

Методичні вказівки з дисципліни “Технологія машинобудування”
для студентів спеціальності (освітня програма)
133 «Галузеве машинобудування»

Укладачі: Семеновський Олександр Євгенович
Похиленко Геннадій Миколайович

Підписано до друку __.__.18. Зам. 168. Формат 60/90 1/16 Папір офсетний. Друк
– ризографія. Наклад 100 прим. Ум. друк. арк. 4,5
Друк. «_____»

м. Київ

ТЕРМІНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

Машинобудування це базова галузь промисловості, яка забезпечує суспільне господарство держави найрізноманітнішими машинами та силовими агрегатами, апаратурою, устаткуванням, приладами, а також виробами культурно-побутового призначення.

Саме розвиток машинобудування забезпечує зростання продуктивності суспільної праці, технічний прогрес, економічну незалежність та обороноздатність країни.

Галузь науки, що займається дослідженням закономірностей технологічних процесів промислового виробництва з метою забезпечення якісно-кількісних показників відповідних виробів, з найвищим рівнем техніко-економічних показників, має назву – "Технологія машинобудування" [3].

Об'єктом технології машинобудування, як науки є технологічні процеси.

Предметом технології машинобудування є встановлення зовнішніх та внутрішніх зв'язків, закономірностей технологічних процесів. Тільки базуючись на всебічному вивченні прогресивних технологічних процесів можливе забезпечення виготовлення виробів відповідної якості з мінімальними затратами.

Становлення технології машинобудування, як наукової дисципліни пов'язано з труднощами, які викликані величезним різноманіттям об'єктів виробництва (від мініатюрних приладів, до екскаваторів, від найпростішого молотка до літака). Це, в свою чергу, викликало появу величезної кількості методів виготовлення виробів та надзвичайно широкого спектру обладнання для їх забезпечення.

Базуючись на вивченні цих технологічних процесів створено вчення стосовно точності оброблення деталей, розкриті закономірності розмірних та часових зв'язків технологічних процесів, розроблені розрахункові

методи, сформовані основні поняття та визначення, створена методика розробки технологічних процесів [3].

Особливо важливим для розуміння всіх факторів, що впливають на економічні та службові характеристики машин та агрегатів є розуміння на стадії конструювання, понять та положень технології машинобудування, як науки.

Виходячи з того, що технологія машинобудування – це наука про виготовлення машин потрібної якості в відповідності з виробничою програмою з мінімальними затратами праці, тобто при найменшій собівартості виробництва.

Особливості конструювання в галузі сільськогосподарського машинобудування

Конструювання машин за своєю суттю – це розробка механізмів з метою забезпечення цілеспрямованих рухів направлених на виконання заданих робіт з максимальною продуктивністю та мінімальними затратами енергії.

Сучасне сільськогосподарське машинобудування розглядає всі машини, що використовуються в аграрній галузі, як мехатронні системами. Тому на стадії розробки і конструювання необхідно чітко розуміти, що мехатронна система є єдиним цілим механічної частини та засобів керування – електронної частини. При цьому механічна частина машини є об'єктом розробки та виготовлення машинобудівних підприємств, а електронні засоби керування, часто передаються підприємствам електронної промисловості.

Технічний рівень машини – один з показників якості – характеризується ступенем досконалості машини, тобто потужністю, коефіцієнтом корисної дії, продуктивністю, економічністю, ступенем автоматизації, надійністю, точністю та безпекою роботи [3].

Виріб (готова продукція) – це кінцевий продукт виробництва в машинобудуванні. В залежності від призначення виробництва виробом може бути комбайн, трактор, автомобіль, або інші машини та агрегати, а також вузли, або навіть деталі, в залежності від того, що є кінцевим продуктом цього виробництва. В процесі виробництва машини, агрегати, окремі деталі на різних стадіях виготовлення розглядаються як вироби. В залежності від складності вироби поділяються на вузли (складальні одиниці) та деталі. Для більш складних виробництв характерними є такі вироби як – комплекс, комплект, агрегат .

Крім виробів основного виробництва розрізняють вироби допоміжного виробництва. Вироби допоміжного виробництва направлені на забезпечення внутрішніх потреб виробництва, до них відносяться інструмент, запчастини для ремонту власного обладнання, технологічна оснастка.

Важливою характеристикою виробу є його якість. Під цим терміном розуміють сукупність властивостей, що обумовлюють його придатність задовольняти певні вимоги у відповідності з його призначенням.

Залежно від складності в машинобудуванні розглядаються такі види виробів – деталь, складальна одиниця, комплекс, комплект, агрегат, машина (рис.1).

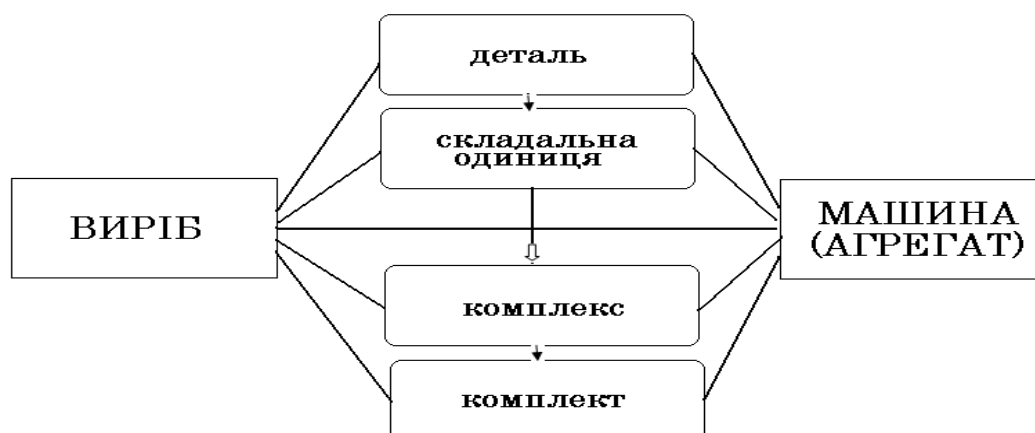


Рис. 1. Структура виробів в сільськогосподарському машинобудуванні

Вироби, в залежності від наявності або відсутності в них складових частин, ділять на неспеціфикованні (деталі, що не мають складових частин), та специфіковані (складальні одиниці, комплекси, комплекти - складаються з двох і більше складових частин).

Деталь це суцільний, первинний елемент виробу що характеризується відсутністю роз'ємних або нероз'ємних з'єднань (болт , гайка, колінчастий вал, а болт з накрученою гайкою вже є складальною одиницею). Деталь також може бути і просто виробом, а не тільки його частиною.

Поверхні деталей, що мають призначення виконувати деякі робочі функції, називаються *функціональними* (виконавчими або робочими) - наприклад, бокова поверхня зуба зубчастого колеса, напрямні верстатів.

Деталі, що призначені для збирання, мають поверхні які не спряжені між собою та поверхні, які нерухомо з'єднуються між собою, або забезпечують передачу рухів ковзанням, коченням, або коченням з просковзуванням – ці поверхні називають спряженими.

Поверхні, що сполучаються, службовці для приєднання до даної деталі інших деталей, називаються *допоміжними базами*. Базові деталі - це деталі, які виконують у вузлі роль ланки, яка забезпечує при складанні відповідне відносне положення інших деталей (наприклад - рама комбайна, корпус редуктора і т.п.).

Складальна одиниця (вузол) – це роз'ємне або нероз'ємне з'єднання деталей, що входять до складу виробу. Складальна одиниця (вузол) залежно від її конструкції може складатись з окремих деталей, або зі складальних одиниць (вузлів) і деталей.

Комплекс – це два і більше специфікованих вироби (що мають специфікацію і складаються з двох і більше складових частин), не з'єднаних на машинобудівному заводі – виробнику складальними

операціями, але призначених для виконання взаємопов'язаних експлуатаційних функцій . Наприклад, автоматична лінія.

Комплект – це два, або більше виробів, які як і комплекс на заводі – виробнику не з'єднані складальними операціями і які мають загальне експлуатаційне призначення. Наприклад комплекти запасних частин, інструментів, вимірювальних приладів.

Агрегат – це складальна одиниця, якій притаманні повна взаємозамінність, можливість складання окремо від інших складових частин виробу (або виробу в цілому) і здатність виконувати певну функцію у виробі, або самостійно. Наприклад – мотор-редуктор.

В залежності від наявності або відсутності у виробках складових частин розрізняють вироби неспецифіковані, тобто такі, що не мають складових частин і специфіковані, що складаються з двох і більше складових частин (складальні одиниці, комплекти , комплекси).

На кожній деталі, яка призначена для складання вузлів машин та агрегатів, розрізняють поверхні по яким відбувається з'єднання. Перші при складанні утворюють спряження (з'єднання).

Спряжувані поверхні деталей по яким відбувається з'єднання однієї деталі до іншої називаються основними базами. Наприклад, поверхні головки блока циліндра і блока циліндра, або поверхні коробки швидкостей верстата і станини, де кріпиться корпус коробки та ін.

При складанні з'єднань основні бази однієї деталі опираються на допоміжні бази іншої. Наприклад, у верстаті поверхня на станині, де кріпиться корпус коробки – допоміжна база. Отвір вкладиша, де розміщується шпindel верстату – допоміжна база, а поверхня шпинделя основна.

Розрізняють також функціональні поверхні, призначення яких забезпечення виконання певних робочих функцій, їх ще називають виконуючими, або робочими. Наприклад, поверхня рейки по якій

переміщується колесо вагонетки, шків пасової передачі, поверхні зубців шестерень по яким відбувається зачеплення, поверхня упорної різі гвинтових механізмів. Не обов'язково функціональна поверхня повинна бути спряженою, як, наприклад, поверхня колеса автомобіля.

Інші поверхні деталі, які вільні в просторі відносно інших деталей та вузлів, тобто не є спряженими, лише забезпечують надання деталі певної форми, розмірів та маси. Як правило такі поверхні оброблюються з невисокою точністю, або взагалі не підлягають механічній обробленні. Деталі, які в процесі виконання своїх функціональних призначень обертаються з високою частотою врівноважуються по масі відносно осі обертання (балансуються). Поверхні заготовок після операцій оброблення тиском або литва, як правило, підлягають зачисним операціям.

Конструкторська підготовка виробництва

Особливістю виробничого процесу в аграрному секторі є його сезонність, що накладає певну циклічність випуску машин агрегатів та запчастин в машинобудівній сільськогосподарській галузі. Тому виробничий процес може в тій, чи іншій мірі переорієнтовуватись або на виготовлення виробів, або їх ремонту та випуску запчастин. До складу виробничого процесу входять всі дії з виготовлення виробів, транспортування та зберігання матеріалів, виготовлення інструменту, ремонт верстатів, випробування, пофарбування, а також звіт, звітність і всі роботи по технічній підготовці виробництва.

Процес технічної підготовки включає в себе:

- 1) конструкторську підготовку виробництва (розробка конструкції та технічної документації);
- 2) технологічну підготовку виробництва: забезпечення технологічності конструкції виробів, розробка технологічних процесів, проектування та виготовлення технологічної оснастки, тощо;

3) календарне планування виробничого процесу, що, як відмічалось раніше, має циклічний сезонний характер. (терміни випуску, об'єм, затрати).

Відповідно до основ машинобудування технологічний процес – це частина виробничого процесу, що складається з дій по зміні розмірів, форми, зовнішнього вигляду, або внутрішніх властивостей предмета виробництва та їх контроль.

Технологічні процеси будуються за окремими методиками їх виконання (процеси механічної оброблення, складання, лиття, термічної оброблення, нанесення покриттів і ін.).

Технологічна операція – це закінчена частина технологічного процесу, яка виконується безперервно на одному робочому місці з одним, або кількома одночасно оброблюваними виробами, одним, або декількома робітниками.

Наприклад: оброблення валу в центрах на токарному верстаті можна виконати за одну або за дві операції, виходячи з організаційної доцільності.

Технологічна операція є основною одиницею виробничого планування та обліку. На основі її собівартості встановлюються трудомісткість виготовлення виробів, норми часу, розцінки, розрахунок кількості робітників, верстатів, обладнання, інструментів, виконується календарне планування виробництва, строки виконання.

В умовах автоматизованого виробництва під терміном операція розуміють закінчену частину технологічного процесу, що виконується безперервно на автоматичній лінії, яка складається з декількох верстатів, зв'язаних автоматично діючими транспортно-завантажувальними пристроями.

До складу технологічного процесу в потоковому виробництві, особливо при обробленні на автоматичних лініях і в гнучких

технологічних комплексах, включаються допоміжні операції необхідні для виконання технологічної операції (транспортування, контроль, маркування, видалення стружки та ін.).

З точки зору першої складової технологічного процесу під час конструкторської підготовки при розробці технічної документації визначальним є вибір матеріалу.

При цьому конструктор повинен спиратись на умови роботи деталі забезпечуючи відповідний перелік службових характеристик матеріалу, які повинні гарантувати необхідний ресурс роботи деталей та вузлів, а також заданий рівень надійності.

Надійність роботи машин визначається досконалістю їх конструкції та технології виготовлення, що передбачає використання відповідних конструкційних матеріалів, прогресивних технологічних процесів виготовлення і методів зміцнення деталей машин.

При цьому потрібно враховувати різноманітність умов експлуатації окремих деталей машин, основними з яких є процес спрацювання, дія хімічно активних середовищ, циклічних навантажень тощо.

Отже, розроблюваний технологічний процес має забезпечувати високу якість термічного оброблення деталі не тільки на завершальному етапі, а й передбачати попередні операції (нормалізація, відпалювання), які забезпечують оброблюваність заготовки різальним інструментом і відповідну структуру перед термічним обробленням.

Якщо для вуглецевих і низьковуглецевих сталей достатньо провести попередню нормалізацію заготовок, то для високовуглецевих і легованих сталей потрібно попереднє відпалювання (для деяких легованих сталей застосовують ізотермічний відпал).

Для найбільш відповідальних деталей двигунів та ходової частини автомобілів та автобусів проводять гомогенізаційний відпал, з метою забезпечення ізотропії властивостей металу заготовки.

При виборі матеріалу заготовки необхідно враховувати умови роботи деталі:

- наявність динамічних та знакозмінних навантажень;
- тертя кочення або ковзання;
- наявність змащуючого середовища (подача оливи під тиском);
- відкриті передачі, які працюють при наявності абразиву.
- наявність агресивних середовищ та високих температур.

Деталі, що працюють в умовах тертя за наявності мастил та дії ударних навантажень (поршневі пальці, шестерні КЗП) виготовляють із низьковуглецевих сталей марок 12ХН3А, 15ХГТ, 20Х, 25ХГТ, 20ХГР, 20ХН3А. Після хіміко-термічної обробки (цементация, нітроцементация) твердість на поверхні деталі досягає 56...58 HRC з в'язкою серцевиною.

Високомодульні шестерні, плунжери, гільзи, вали, втулки, штоки, що також працюють в умовах тертя за наявності мастил та знакозмінних навантажень виготовляють із середньовуглецевих легованих сталей марок 38ХМЮА, 60, 50Г2, 40ХН2МА, 45ХН, 30ХГТ, які після поверхневого гартування мають твердість поверхні 50...56 HRC з в'язкою серцевиною.

Для деталей з менш жорсткими навантаженнями використовують сталі 45, 38ХС, 50, 45ХН, які після термічної обробки – покращення мають твердість 38...45 HRC

До деталей, що працюють в умовах абразивного спрацювання належать леміші плугів, сошники сівалок, лапи і диски культиваторів, зуби борін, ківші екскаваторів та ін.

Для забезпечення зносостійкості таких деталей потрібно максимально підняти їх твердість за рахунок гартування та низького відпуску. Для цих деталей використовують переважно середньовуглецеві (0,55...0,70%С), а також леговані (60С2, 65Г, 70Г) сталі. Після термічної обробки вони повинні мати твердість 50...56 HRC.

Для деталей, що працюють в умовах абразивного спрацювання та динамічних навантажень (ланки гусениць, зуби і ковші екскаваторів, залізничні стрілки), використовують леговану сталь аустенітного класу 110Г13Л. Таку сталь гартують з нагріванням до температури аустенітизації 1050...1100°C з наступним охолодженням у воді.

В умовах циклічних навантажень працюють пружини, ресори, для яких використовують середньовуглецеві сталі 65Г, 50ХФА, 60С2А, 70С2ХА, 60С2ХФА. Деталі з таких сталей піддають гартуванню з середнім відпуском (400...480°C) на твердість 35...45 HRC.

Шатуни, шатунні болти, гайки, вали, напіввісі автомобілів працюють в умовах знакозмінних навантажень. Такі деталі виготовляють із середньовуглецевих низьколегованих сталей 45Г, 40ХН, 45ХН, 38ХМА, які забезпечують підвищену міцність при втомі деталей. Вони підлягають гартуванню та високому відпуску (твердість 30...35 HRC).

Для деталей, що працюють в умовах сухого тертя ковзання (сегменти різального апарата, ножі і молотки подрібнювачів), використовують високовуглецеві сталі У7А, У8А, У9А та низьколеговані сталі (65Г, 60С2А). Після гартування з низьким відпуском вони мають твердість 55...61 HRC.

В умовах агресивних середовищ та високих температур працюють деталі сільськогосподарських машин (для внесення добрив, оприскувачів), клапани та колектори двигунів внутрішнього згорання. Для цього використовують корозійностійкі сталі (Х13, Х17 та ін.) і кольорові сплави (латуні, бронзи), сталі, леговані хромом, силіцієм, молібденом, ванадієм (40Х9С2, 40Х10С2М, 30ХН2МФА, 30Х3МФ).

Крім того необхідно враховувати економічні показники виробництва, металоємкість продукції, а також технологічні характеристики матеріалу, щоб забезпечити мінімальну складність виготовлення та складання окремих деталей. Так, наприклад, чавун - який

є високотехнологічним ливарним сплавом, з високим рівнем механічних та антифрикційних властивостей , в той же час абсолютно не піддається зварюванню.

При складанні технологічних процесів виготовлення виробів технологічний процес розділяють на складові частини – елементи.

Технологічний перехід – це закінчена частина технологічної операції, яка виконується над однією поверхнею заготовки, одним або кількома одночасно працюючими інструментами без зміни режиму роботи верстата. В межах одного технологічного переходу зміна режиму роботи верстата, або робота над кількома поверхнями може бути при використанні верстатів з програмним та адаптивним управлінням.

Робочий хід – це закінчена частина технологічного переходу, яка складається з однократного переміщення інструменту відносно заготовки для зміни форми, розмірів, якості поверхні і властивостей заготовки.

Допоміжний перехід – закінчена частина технологічної операції, що складається з дій людей і обладнання, які не супроводжуються зміною форми, розмірів і шорсткості поверхні предмета праці, але необхідні для виконання технологічного переходу (установка заготовки, зміна інструменту).

Допоміжний хід – закінчена частина технологічного переходу, що складається з одноразового переміщення інструменту відносно заготовки, що не супроводжується зміною форми, якості поверхні, або властивостей заготовки, але необхідна для підготовки робочого ходу.

Прийом – закінчена сукупність дій робітника, застосовуваних при виконанні переходу або його частини і об'єднаних одним цільовим призначенням (установити заготовку, зняти деталь, пуск верстату, перемикання важелів верстату та ін.).

Установ – частина технологічної операції, яка виконується при незмінному закріпленні заготовки.

Заготовка – майбутня деталь, тобто частина матеріалу певних розмірів і форми, призначена для виготовлення деталі.

Позиція – фіксоване положення, яке займає незмінно закріплена оброблювана заготовка, або складальна одиниця під час складання, разом з пристроєм, по відношенню до інструмента, або нерухомої частини обладнання, для виконання певної частини операції.

Технологічні процеси механічної оброблення деталей і складання машин розробляють виходячи з розміру виробничої програми. При цьому враховується наявність засобів виробництва, тому що придбання нового технологічного обладнання пов'язано зі значними матеріальними витратами, що не завжди економічно доцільно.

До засобів виробництва відносяться технологічне обладнання і технологічне оснащення. До технологічного обладнання відносяться металорізальні верстати, преси, розмічальні плити, випробувальні стенди та ін.. Поняття технологічної оснастки включає інструменти (ріжучі, вимірювальні, штампові тощо) і пристосування.

Пристосування - це частина технологічної оснастки, яка призначена для надання певного положення, або направлення предмету праці (заготовки), або інструменту, з метою забезпечення виконання відповідної технологічної операції.

Залежно від масштабу виробництва розрізняють три основних типи виробництв: масове, серійне і одиничне. В залежності від типу виробництва вибирають технологічні процеси виготовлення заготовок та деталей, складання вузлів агрегатів та машин. Для забезпечення виконання цих процесів вибирають обладнання, пристрої, інструменти тощо.

Масове виробництво - це таке виробництво, при якому виготовлення виробів ведеться шляхом виконання на робочих місцях одних і тих же операцій, що постійно повторюються. Характерною особливістю масового виробництва є безперервно-потоківий метод. При цьому методі деталі

після оброблення на одному верстаті чи робочому місці відразу передають для оброблення на подальше робоче місце по ходу технологічного процесу. Передача деталей здійснюється в автоматичному режимі.

При масовому виробництві характерним є безперервно-потоківий метод, який передбачає наявність певного проміжку часу на кожну операцію, який кратний такту виробництва. Такт – це інтервал часу (хв) між випуском двох деталей, що обробляються послідовно - одна за одною.

Прикладами безперервного потоку є автоматичні верстатні лінії і складальні конвеєри. Безперервний потік широко застосовується в автотракторобудуванні.

Масовому виробництву властиві: сталі обсяг і характер роботи на робочих місцях; розташування робочих місць у порядку виконання операцій; широке застосування спеціальних високопродуктивних верстатів, пристроїв та інструментів; висока ступінь взаємозамінності деталей та відсутність робіт по підгонці деталей в процесі складальних операцій.

Серійне виробництво характеризується тим, що на більшості робочих місць послідовно обробляють партії (серії) різних деталей і разом з тим верстаті періодично переналагоджуються з однієї операції на іншу. Залежно від розміру партій серійне виробництво розділяють на багатосерійне, дрібносерійне та середньосерійне. При середньосерійному виробництві одні деталі виготовляються великими серіями, інші середніми, або навіть дрібними. Для серійного виробництва характерне застосування більш універсальних верстатів, пристосувань і інструментів, ніж при масовому виробництві.

Змінно-потоківі лінії, що часто застосовуються в серійному виробництві, призначаються для оброблення деталей певного типу, тобто близьких за конфігурацією, розмірами і характеру оброблення (вали, шестерні, втулки). Такі лінії налагоджують для оброблення партій

однотипних деталей, а при необхідності періодично переналагоджують для оброблення інших партій деталей.

Одиничне (індивідуальне) виробництво характерне виробництвом певних виробів в одному, або в кількох примірниках. Основними особливостями одиничного виробництва є:

1) широка і різноманітність номенклатура виробів, що виготовляються;

2) відсутність попередньо обумовленої повторюваності операцій на робочих місцях;

3) широка універсальність обладнання, пристосовувань та інструменту.

Всі ці особливості вимагають від робітників, що зайняті в одиничному виробництві високої професійної кваліфікації.

Слід зазначити, що на одному і тому ж заводі, або навіть в одному цеху деякі вироби можуть випускатися методами масового, а інші серійного, а деякі навіть одиничного типів виробництва. Тому віднесення заводу, або цеху до жодного з перерахованих раніше видів виробництва носить умовний характер [4].

У серійному і масовому виробництвах технологічний процес може бути побудований за принципом концентрації або диференціації операцій.

При концентрації технологічного процесу (принцип поєднання операцій) механічна оброблення деталей може бути здійснена на невеликій кількості верстатів, на яких виконується багато операцій. Концентрація технологічного процесу може бути послідовною, коли велика кількість переходів виконується послідовно один за іншим. Це більш характерно для серійного виробництва. При одночасному виконанні багатьох переходів концентрація технологічного процесу буде паралельною. Це характерно для багатосерійного та масового виробництва із застосуванням багатопиндельних і багаторіцевих верстатів. Може бути паралельно-

послідовна концентрація технологічних процесів при одночасному поєднанні двох способів концентрації.

При розчленовуванні технологічного процесу на велику кількість операцій з малою кількістю переходів (у більшості випадків одноперехідні операції) має місце диференціація технологічного процесу, за принципом розчленування. Встановлення ступеня концентрації, або диференціації технологічного процесу визначається конкретними виробничими умовами (наявним обладнанням, кваліфікації робочої сили тощо).

ОСНОВИ БАЗУВАННЯ ЗАГОТОВОК ПРИ МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ. ПРИНЦИПИ ПОСТІЙНОСТІ ТА СУМІЩЕННЯ БАЗ

Визначення і позначення

При складанні елементів машини необхідно забезпечити правильне розміщення деталей і вузлів у складальних одиницях, а при обробці заготовок їх необхідно правильно орієнтувати щодо елементів технологічної системи верстат – пристосування – інструмент – деталь (ВПД).

Завдання взаємного орієнтування виробів у складальних одиницях і заготовок при обробці вирішуються їх базуванням.

Базування - надання заготовці або виробу необхідного положення щодо обраної системи координат.

При механічній обробці заготовок на верстатах базування забезпечується за рахунок використання різномпанітних пристроїв пристроїв або за рахунок нанесення на поверхні заготовок ліній, точок перед обробкою (операція розмічання).

Фіксація положення, досягнутого при базуванні, здійснюється затискними пристосуваннями при закріпленні заготовок. У зв'язку з цим при встановленні заготовок на початку операції вирішуються два завдання: базування і закріплення.

Відомо, що будь-яке матеріальне тіло в тривимірному просторі має шість ступенів вільності – три переміщення уздовж координатних осей і три обертання навколо цих осей. При базуванні на тіло накладається певна кількість позиційних зв'язків (обмежники переміщень та обертань), що позбавляють його певних ступенів вільності.

Таким чином визначається числове значення положення заготовки за відповідними координатами.

У реальних умовах базування позиційні зв'язки замінюються контактом відповідних поверхонь або опорних точок виробів при складанні або заготовки і пристрою. Кількість опорних точок повинна бути такою, що дорівнює кількості замінених ними позиційних зв'язків.

При цьому під опорною точкою мається на увазі ідеальна точка контакту, що позбавляє вироб одного ступеня вільності.

Для позначення опорних точок існують умовні позначки.




Так під час аналізу конструкторської документації користуються умовними позначками згідно з ДСТУ. Опорні точки позначають: - на вигляді збоку ∇ та - на вигляді зверху. \diamond


Для позначення технологічних баз на схемах базування при виготовленні виробів технологи використовують умовні позначення. При цьому технолог зазначає не тільки позначку опори, а і форму поверхні контакту, кількість ступенів вільності, яких позбавлений виріб.

Приклади позначок опорних поверхонь наведені нижче:

- *опори* (вигляд збоку, зверху, знизу):




   нерухомі;

   рухомі;

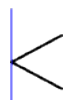






   плаваючі;

- *позначення форми поверхні контакту*:

— площина;  сферична;  циліндрична;

 призматична;  конічна;  ромбічна.

– *приклади позначення встановлювальних елементів під час токарного оброблення*:

	центр жорсткий;		трикулачковий патрон;
	центр обертовий;		повідковий патрон;
	центр плаваючий;		рухомий люнет;
			нерухомий люнет.

Класифікація баз

БАЗА – поверхня або сполучення поверхонь, вісь, точка, що належать заготовці або виробу і використовуються для базування.

Відповідно до ДСТУ бази класифікуються за такими ознаками:

- *За призначенням:*

- конструкторські (основні та допоміжні);
- технологічні;
- вимірювальні.

- *За кількістю ступенів вільності, які позбавляють виріб (табл. 1).*

Характеристика баз за кількістю ступенів вільності, яких вони позбавляють

Таблиця 1.

Найменування бази	Ступені вільності, що позбавляються	Вид поверхні, що реалізує базу
Встановлювальна (ВБ)	3 (1 перем*., 2 оберт*.)	Площина
Напрямна (НБ)	2 (1 перем., 1 оберт.)	Площина
Опорна (О)	1 (1 перем. або 1 оберт.)	Площина, зрізаний (ромбічний) палець
Подвійна напрямна (ПНБ)	4 (2 перем., 2 оберт.)	Довгий циліндр
Подвійна опорна (ПОБ)	2 (2перем.)	Короткий циліндр

* Скорочений запис визначення положення виробу за лінійною (перем.) або кутовою координатою (оберт.).

- За характером прояву (рис.2):
 - явні (у вигляді реальних поверхонь, розмічувальних рисок або точок);
 - віртуальні (у вигляді уявної площини, осі симетрії тощо) - сховані.
- Розглянемо цю класифікацію більш поглиблено.

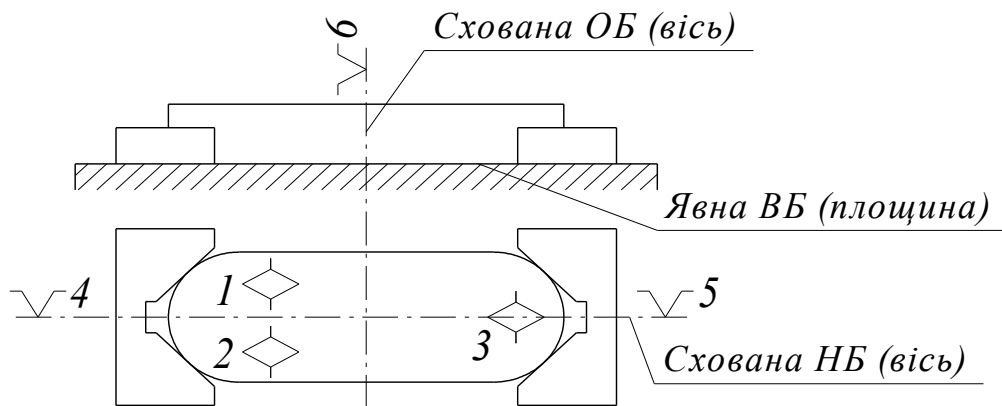


Рис.2. Бази явні і сховані (віртуальні)

Конструкторські бази

Конструкторські бази – бази, що визначають положення виробу у виробі більш високого порядку або положення інших виробів, що приєднують до нього. Їх поділяють на основні та допоміжні.

ОСНОВНА КОНСТРУКТОРСЬКА БАЗА (ОКБ) використовується для визначення положення самої деталі або складальних одиниць у виробі (рис.3).

ДОПОМІЖНА КОНСТРУКТОРСЬКА БАЗА (ДКБ) використовується для визначення положення деталей або складальних одиниць, що приєднуються до даного виробу (рис.3).

Конструкторськими базами користуються для забезпечення службового призначення деталі конструктори та для складання виробу складальники.

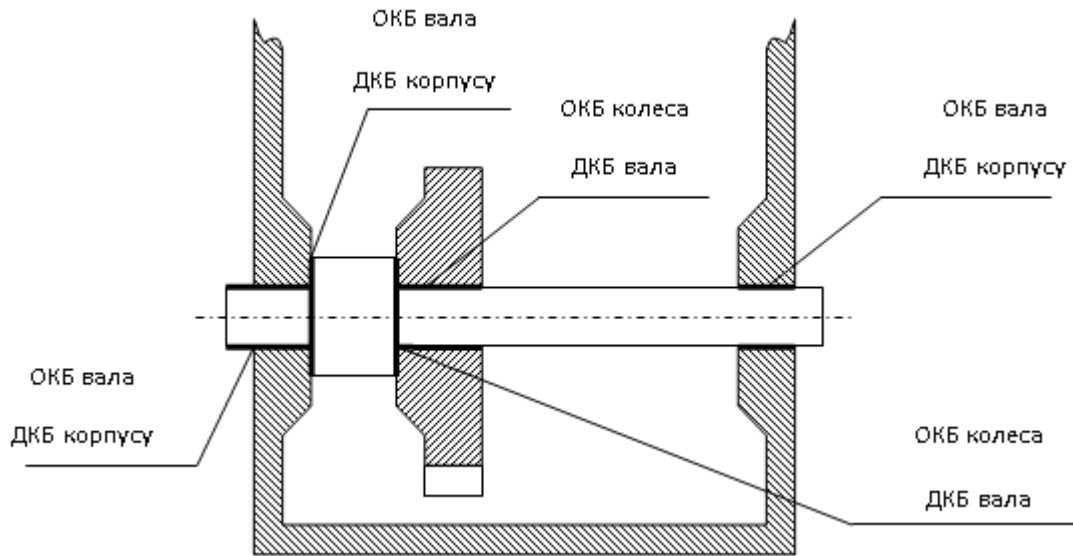


Рис.3. Основні і допоміжні конструкторські бази

Технологічні бази

ТЕХНОЛОГІЧНА БАЗА (ТБ) - база, що використовується для визначення положення заготовки або виробу при виготовленні, складанні або ремонті (рис.4).

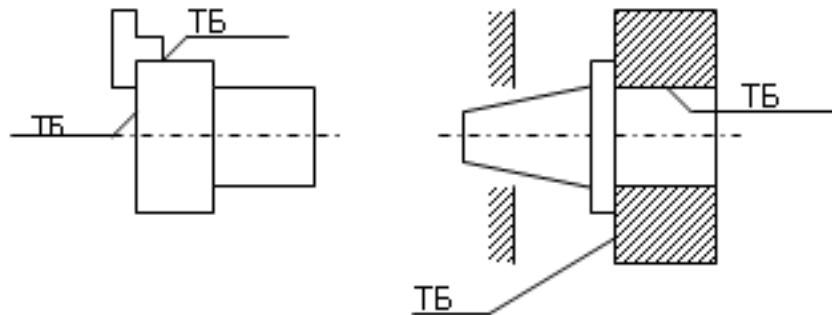


Рис.4. Технологічні бази

Технологічні бази можуть бути реальними (реальні поверхні виробу) і штучними (поверхні спеціально створені для базування при виготовленні, складанні або ремонті, наприклад, центрові отвори у деталей типу вал).

Технологічними базами користуються технологи при розробленні схем базування для забезпечення точності виготовлення виробів,

конструктори технологічного оснащення та безпосередньо робітники на робочих місцях.

Вимірювальні бази

ВИМІРЮВАЛЬНА БАЗА (ВБ) – база, що використовується для визначення відносного положення поверхонь або виробів і засобів вимірювання (рис.5).

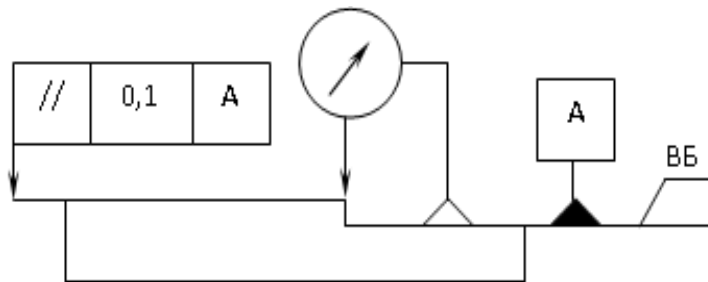


Рис. 5. Вимірювальна база (ВБ)

ПРАВИЛА ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ БАЗ

Як згадувалось вище тіло в просторі має шість ступенів вільності – три переміщення уздовж координатних осей і три обертання навколо цих осей. Тому необхідно дотримуватись основних правил і рекомендацій, щодо вибору технологічних баз і в подальшому отриману задану точність після механічного оброблювання.

Правило шести точок

Правило базування заготовок з позбавленням їх всіх шести ступенів вільності називають правилом шести точок. Незалежно від форми заготовки та її геометричних співвідношень при базуванні необхідно дотримуватися правила 6 точок, відповідно до якого для забезпечення базування заготовки в пристосуванні необхідно і достатньо створити в ньому шість опорних точок, розміщених певним чином відносно базових поверхонь заготовки.

Розглянемо приклади дотримання правила при базуванні валів для різних операцій.

Для прикладу на (рис. 6) наведена схема базування валика на шість точок. Циліндрична поверхня валика зв'язується з координатними площинами за допомогою чотирьох координат 1, 2, 3 і 4, які позбавляють його чотирьох ступенів вільності. Торцева площина валика зв'язується з координатною площиною yOz координатою 5, яка позбавляє його однієї ступені вільності. Одна з поверхонь шпонкового паза А зв'язується з площиною xOy координатою 6, яка позбавляє валик останньої ступені вільності. На (рис. 7) наведена схема для установки даного валика в призмі.

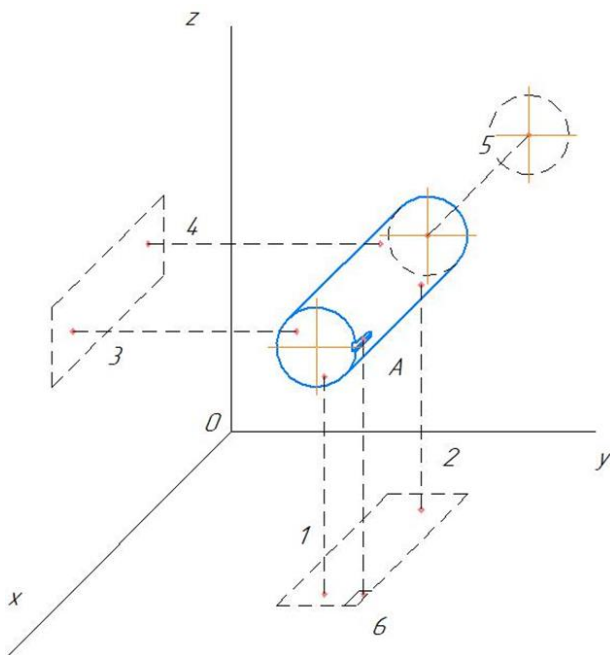


Рис. 6. Схема базування валу по правилу шести точок

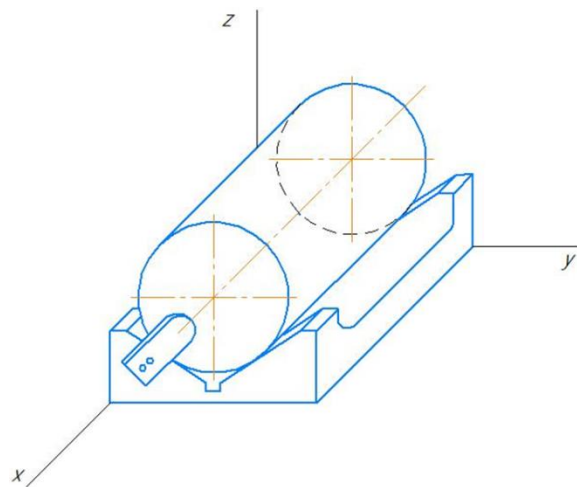


Рис. 7. Схема базування валу в призмі

В деяких випадках схема базування залежить від співвідношення розмірів. Наприклад, для валів – це відношення довжини до діаметра (L/D). Так до основних способів встановлення валів при обробці зовнішніх

циліндричних поверхонь відносять: встановлення валу в патроні (рис. 8), для варіанту $L/D < 4$.

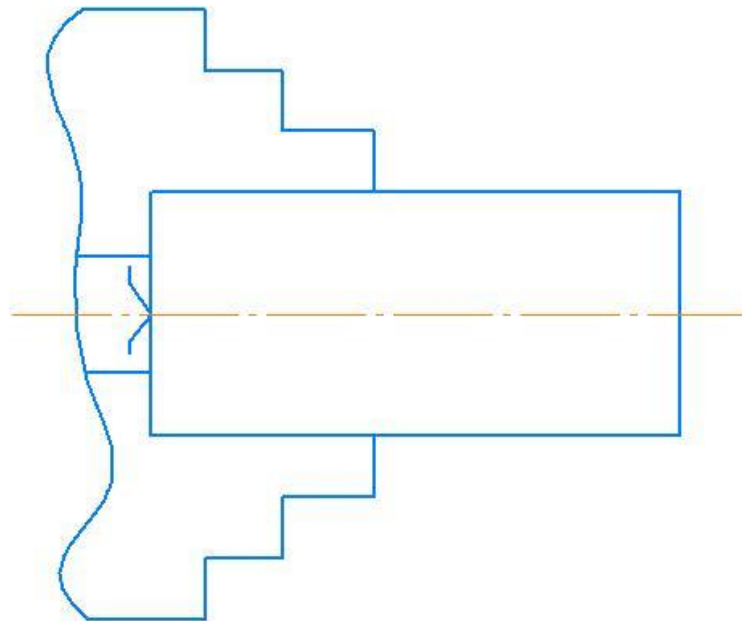


Рис. 8. Встановлення валу в патроні

Якщо співвідношення змінюється $4 < L/D < 7$ то використовують схему встановлення валу в патроні і в задньому центрі (рис. 9)

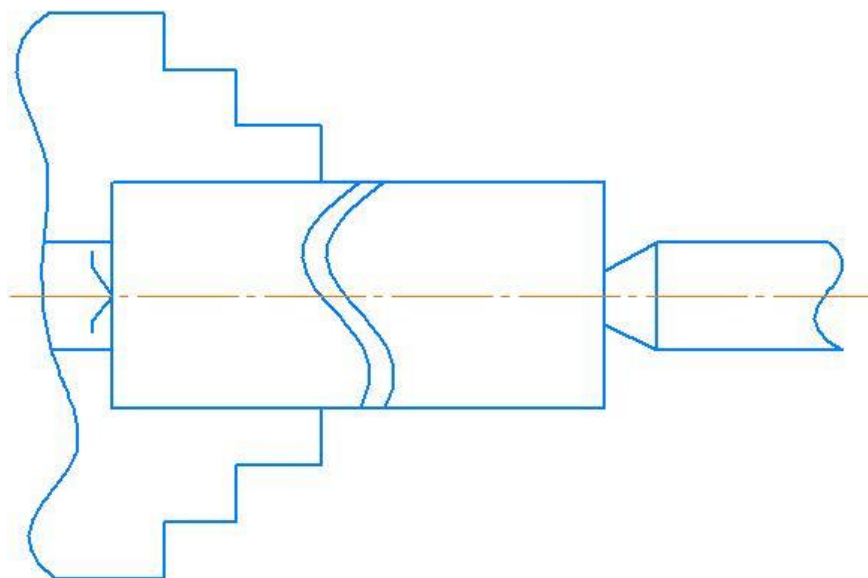


Рис. 9. Встановлення валу в патроні і заднім центром

Схему встановлення валу в центрах використовують якщо співвідношення $7 < L/D < 10$ (рис. 10)

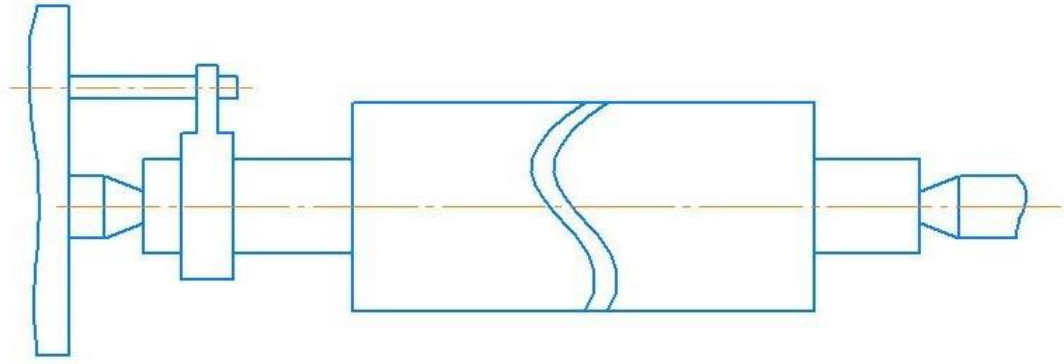


Рис. 10. Встановлення валу в центрах

При $L/D > 10$ вали вважаються нежорсткими і використовується схема в яку вводять спеціальні пристосування – люнети. Тобто вал встановлюють в центрах з люнетом (рис.11)

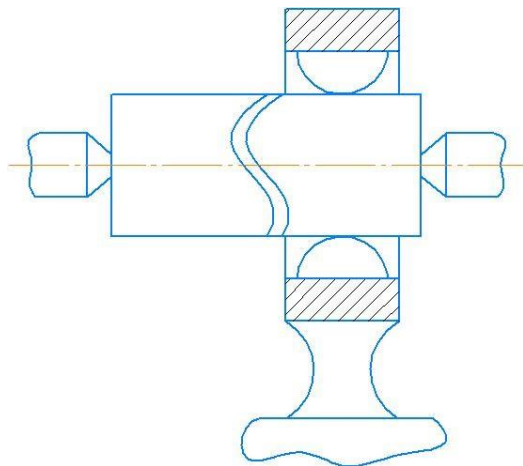


Рис. 11. Встановлення валу в центрах з люнетом

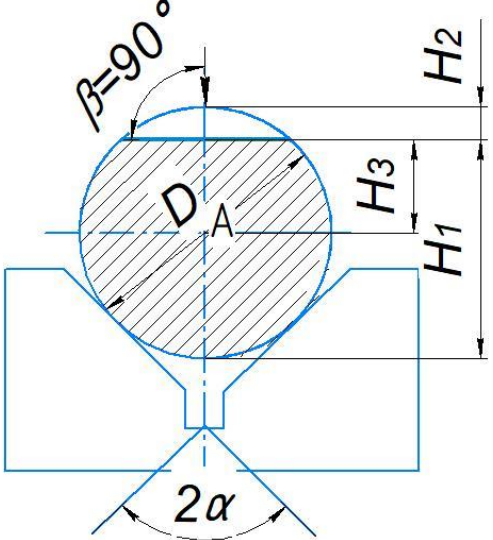
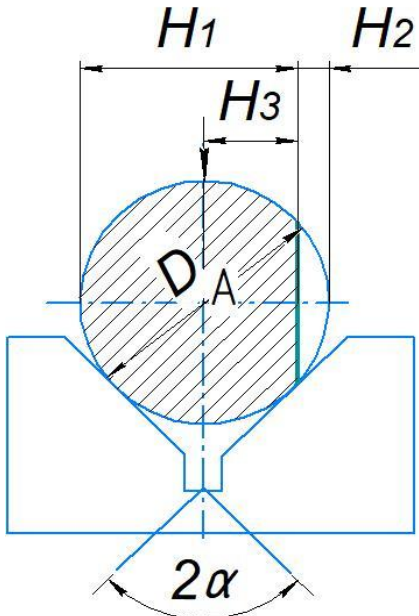
Існує декілька основних схем базування валу при фрезеруванні. До них відносяться [7]:

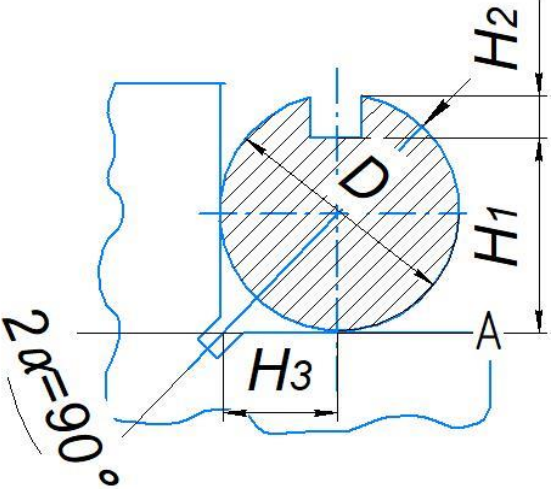
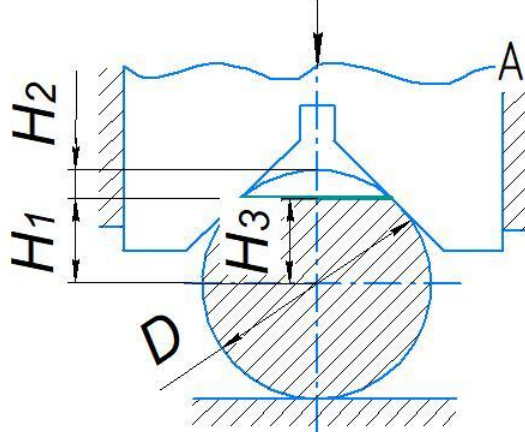
1. По зовнішній циліндричній поверхні при обробці листки під кутом β до осі симетрії призми.
2. По зовнішній циліндричній поверхні в призму з прямим кутом.
3. По зовнішній циліндричній поверхні на установчу плоску поверхню з закріпленням призмою.

В таблиці 2 наведені основні схеми базування заготовок в призмі при фрезеруванні.

Основні схеми базування заготовок при фрезеруванні

Таблиця 2.

<p>По зовнішній циліндричній поверхні при обробці листки під кутом $\beta=90^{\circ}$ до осі симетрії призми</p>	 <p>The diagram shows a cylindrical workpiece of diameter D and length A mounted in a prismatic fixture. The workpiece is oriented such that its axis is perpendicular to the symmetry axis of the fixture, indicated by $\beta=90^{\circ}$. The fixture has a conical base with a half-angle of α, resulting in a total angle of 2α. Three height dimensions are shown: H_1 is the height from the base to the top of the workpiece; H_2 is the height from the base to the top of the fixture's side walls; and H_3 is the height from the top surface of the workpiece to the top of the fixture's side walls.</p>
<p>По зовнішній циліндричній поверхні при обробці листки під кутом $\beta=0^{\circ}$ до осі симетрії призми</p>	 <p>The diagram shows a cylindrical workpiece of diameter D and length A mounted in a prismatic fixture. The workpiece is oriented such that its axis is parallel to the symmetry axis of the fixture, indicated by $\beta=0^{\circ}$. The fixture has a conical base with a half-angle of α, resulting in a total angle of 2α. Three height dimensions are shown: H_1 is the height from the base to the top of the workpiece; H_2 is the height from the base to the top of the fixture's side walls; and H_3 is the height from the top surface of the workpiece to the top of the fixture's side walls.</p>

<p>По зовнішній циліндричній поверхні в призму з прямим кутом</p>	
<p>По зовнішній циліндричній поверхні на установчу плоску поверхню з закріпленням призмою</p>	

Вибір чорнових і чистових технологічних баз

Усі поверхні деталі в загальному випадку можуть бути розділеними на дві групи:

- такі, що не підлягають обробці після виготовлення вихідної заготовки;
- такі, що підлягають обробці з заданою точністю.

Точність і взаємне розміщення поверхонь першої групи між собою забезпечують методом виготовлення вихідної заготовки.

Точність взаємного розміщення поверхонь першої і другої груп між собою досягають шляхом правильного вибору технологічних баз.

Технологічні бази поділяють на чорнові та чистові. Існують певні правила для їх призначення.

Чорнові бази – бази, які використовують на першій механічній операції.

Ці бази призначені для підготовки чистових баз. Чорнові бази використовують тільки один раз, на першій технологічній операції. При їх виборі потрібно враховувати такі принципи:

- якщо у деталі є поверхні, що не підлягають обробці, то їх потрібно застосовувати для чорнових баз;

- за чорнові бази не можна брати поверхні рознімання штампів, такі, що мають ливники й інші особливості заготовок;

- за чорнові бази потрібно брати поверхні, на яких передбачений мінімальний припуск.

Чистові бази - бази, що використовуються для чистової обробки.

При їх виборі потрібно враховувати такі принципи:

- чистові технологічні бази повинні по можливості бути елементами деталі, що є її основними конструкторськими або вимірювальними базами (принцип суміщення баз).

- чистові бази повинні забезпечувати обробку заготовок на різних технологічних операціях без зміни баз (принцип постійності баз);

- якщо таких поверхонь у деталі немає, то створюють штучні чистові бази (центрові отвори, штучні припливи тощо).

При виборі технологічних баз необхідно керуватись такими основними рекомендаціями:

1. Для досягнення найбільшої точності кутового положення поверхонь деталі одна відносно іншої і стійкості заготовок необхідно для технологічних баз використовувати поверхні найбільшої довжини (тобто поверхні найбільших габаритних розмірів).
2. За технологічні бази слід вибирати поверхні чи осі деталей, відносно яких слід забезпечувати задане положення поверхонь на даному переході чи операції.

3. Необхідно по можливості дотримуватись принципу постійності баз і під час обробки на всіх основних технологічних операціях використовувати як установочні бази одні й ті ж поверхні. Постійні бази забезпечують високу точність обробки взаємозв'язаних поверхонь і дозволяють використовувати одноманітні затискні пристосування.
4. Слід намагатись обробляти якомога більше поверхонь з одного встановлення заготовки.
5. При необхідності слід штучно збільшувати розміри технологічних баз чи робити спеціальні технологічні бази.
6. На першій чи двох перших операціях повинні створюватись єдині постійні бази для наступної обробки.

Чорновими базами для виконання перших операцій можуть бути поверхні, які взагалі не обробляються або обробляються пізніше. Поверхні, які використовують як чорнові бази, повинні бути по можливості гладкими, не мати штампувальних і ливарних ухилів, ливників, прибуткової частини, площин рознімання ливарних форм і штампів.

МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНІСТЬ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

При виготовленні деталі неможливо досягнути абсолютно точних номінальних розмірів. В зв'язку з цим при складанні робочих креслень призначаються *допустимі відхилення* від номінального розміру. Ці відхилення повинні відповідати вимогам точності при виготовленні деталей.

Точність деталі характеризується :

- допустимими відхиленнями її розмірів від номінальних;
- допустимими відхиленнями від геометричної форми деталі і її окремих елементів (овальність, конусоподібність, бочкоподібність, не площинність, непрямолінійність та ін.);
- допустимі відхилення поверхонь та осей деталі від їх взаємного розташування відносно базової (відхилення між осьової відстані двох отворів, непаралельність площин, осей, неспіввісність, відхилення базового торця відносно вісі отвору).

Самостійним критерієм оцінки точності являється *шорсткість поверхонь*.

Під *точністю* виготовлення деталі розуміють відповідність її всім вимогам робочого креслення, технічним умовам і стандартом. Чим більша ця відповідність, тим більша точність виготовлення деталі. Дійсні відхилення параметрів реальної деталі від заданих номінальних їх значень називають *похибкою виготовлення*.

Різниця граничних відхилень при виготовленні деталі – це *допуск* на розмір.

Допуски, що проставляються на кресленнях, називаються *конструкторськими*.

Допуски на заготовки, які необхідно витримати при виконанні проміжних технологічних операцій називаються *технологічними* або *операційними* (допуск на довжину при відрізанні заготовки, розміри після горнової обробки і т.п.).

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАНОЇ ТОЧНОСТІ

Необхідна (задана конструктором) точність механічного обробітку може бути забезпечена наступними методами:

А. Метод пробних робочих ходів та промірів.

При цьому методі шляхом послідовного зняття стружки визначають отриманні розміри деталі. По результатам замірів роблять корекцію ріжучого інструменту, вивірку заготовки.

Цей метод трудомісткий, вимагає багато часу, використовується в одиничному і інколи в дрібносерійному.

Б. Метод автоматичного отримання заданого розміру.

Суть методу полягає в тому, що партію заготовок обробляють на попередньо налагодженому верстаті, ріжучий інструмент встановлюють на визначений розмір, який називають *налагоджувальним*. При цьому заготовки встановлюють в пристосування без *вивірення (уточнення)* їх положення. Отримання заданого розміру досягають за один робочий хід, тобто при одноразовій обробці.

Налагодженням називається підготовка технологічного обладнання та пристосувань до виконання технологічної операції (встановлення пристосування, ріжучого інструменту, режимів різання).

Цей метод більш продуктивний в порівнянні з методом пробних робочих ходів та промірів, але вимагає спеціальних пристосувань і більш стабільних по розмірам заготовок. Цей метод використовують в серійному і масовому виробництвах.

В обох методах на точність обробки впливає кваліфікація робітника. В першому випадку це вплив точності установки і вивірки заготовки, а також точності установки ріжучого інструменту (кваліфікація робітника – токаря, фрезерувальника), в другому випадку – на процес налагодження верстату перед обробкою партії заготовок.

ОСНОВНІ ФАКТОРИ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ТОЧНІСТЬ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Аналізуючи основні способи отримання заданої точності до основних факторів, які впливають на точність обробки можна віднести наступні:

1. Неточність верстатів.
2. Точність виготовлення ріжучого і допоміжного інструментів та їх зношення.
3. Неточність встановлення інструменту і налагодження верстату на розмір.
4. Похибка базування і встановлення деталі на верстаті або пристосуванні.
5. Деформації деталей верстата, деталі і інструмента під час роботи.
6. Теплові деформації деталі, верстата і ріжучого інструменту в процесі обробки.
7. Якість поверхні деталі після обробки, яка може дати невірні показники при вимірюванні.
8. Помилка вимірювання внаслідок неточності вимірювального інструменту, неправильного використання, температури і т.п.
9. Помилка робітника.

Неточність верстатів

Неточність верстатів в не навантаженому стані залежить головним чином від точності виготовлення їх основних деталей і вузлів та їх складання.

В першу чергу це великі зазори в підшипниках або направляючих, зносу поверхонь, овальності шийок шпинделя, порушення взаємного розташування, неточності направляючих, ходових гвинтів.

Норми точності верстатів регламентовані стандартами.

Наприклад, радіальне биття шпинделів токарних і фрезерних верстатів допускається не більше 0,01 – 0.015 мм.

Похибка прямолінійності і паралельності направляючих токарних і поздовжньо стругальних верстатів не більше 0.02 мм на 1000 мм довжини, на всій довжені не більше 0.05 – 0.08 мм.

Внаслідок зношування шпинделя і підшипників верстатів (наприклад токарних) з'являється биття шпинделя, що впливає на неточність геометричної форми деталі.

При зносі направляючих виникає неспіввісність центрів задньої і передньої бабки, що призводить до похибки геометричної форми.

Точність виготовлення ріжучого, допоміжного інструментів, пристосування і їх зношування в процесі роботи.

Інструмент, як і будь який виріб неможливо виготовити по абсолютним розмірам неможливо. В залежності від інструменту такі похибки часто переносяться в деякій мірі на деталь, після обробітку. Неточність виготовлення інструменту регламентується стандартами.

Суттєво впливає на точність обробки знос ріжучого інструменту.

Ріжучий інструмент зношується по передній і задній поверхням. Розміри деталі також змінюються при затупленні інструменту, що

збільшує радіальну складову сили різання внаслідок чого збільшується деформація системи ВПД.

Неточність встановлення інструменту і налагодження верстату на розмір.

Похибкою налагодження ε_n називається похибку, що виникає внаслідок неправильного положення інструменту і елементів верстата (упорів і т.п.) відносно оброблюваних і базових поверхонь деталі. Похибка налагодження залежить як від кваліфікації і уважності робітника, так і від досконалості пристроїв, що полегшують виконання настройки (відлікові пристрої верстата, шаблони, вимірювальні інструменти і т.п.). Крім того, похибка налагодження залежить від похибки встановлення і закріплення пристосування, а також правильності вибраної схеми базування.

Похибка базування і встановлення деталі на верстаті або пристосуванні.

Існують три основних способи встановлення заготовок при їх обробітку в системах ВПД:

- безпосередньо на столі верстата з використанням вивіряння правильного положення вимірюваними інструментами;
- в універсальних затискних пристроях;
- у спеціальних затискних пристроях.

Перший спосіб використовують, як правило, в одиничному або дрібносерійному виробництві при обробці великогабаритних заготовок. Для правильного базування заготовок застосовують попереднє розмічання, тобто нанесення рисок, точок для наступного використання їх для перевірки положення заготовки на верстаті. Точність базування за цим способом невисока, а трудомісткість значна.

Універсальні затискні пристрої (трикулачкові патрони, лещата та ін.) дають можливість більш точного базування заготовок.

Час, що витрачається на встановлення заготовок, помітно зменшується, є можливість механізації затиску за рахунок використання пневмо - або гідроприводів.

Спеціальні пристрої забезпечують найбільш точне і швидке встановлення заготовок, але їх порівняльна дорожнеча робить їх застосування ефективним у багатосерійному і масовому виробництвах.

Похибка встановлення має місце для всіх розглянутих способів і є наслідком декількох первісних складових, до яких належать похибка базування $\varepsilon_{\text{б}}$, похибка закріплення $\varepsilon_{\text{з}}$ та похибка пристосування $\varepsilon_{\text{пр}}$.

Складові похибки встановлення є векторними величинами, тому

$$\bar{\varepsilon}_{\text{у}} = \bar{\varepsilon}_{\text{б}} + \bar{\varepsilon}_{\text{з}} + \bar{\varepsilon}_{\text{пр}}$$

Оскільки в реальних виробничих умовах для кожного випадку досить складно визначити напрямок дії вектора тієї чи іншої складової похибки встановлення, то її визначають за такою формулою:

$$\varepsilon_{\text{у}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{б}}^2 + \varepsilon_{\text{з}}^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2}$$

Значення окремих складових похибки установаження можна визначити аналітичними розрахунками. Сумарні значення $\varepsilon_{\text{у}}$ для типових схем установки наведені у багатьох технологічних довідниках.

Похибка базування. Є складовою похибки встановлення і виникає внаслідок не поєднання установчої бази з вимірювальною. Ця похибка визначається різницею граничних (найбільшого і найменшого) відстаней вимірювальної бази від ріжучої кромки, налагодженого на розмір інструмента. При поєднанні установчої і вимірювальної баз похибка базування рівна нулю. Отже, щоб уникнути похибки базування, за установчу базу потрібно приймати поверхню, від якої повинен бути

витриманий заданий розмір, тобто від якої проводиться вимірювання (вимірювальна база).

Розглянемо приклад розрахунку похибки базування. При фрезеруванні циліндричних деталей (валики, втулки і т. п.) з базуванням по зовнішніх поверхнях на опорні призми ($\alpha = 90^\circ$), необхідно враховувати, що вісь деталі завжди знаходиться в площині симетрії призми, незалежно від відхилень розмірів установчого діаметру. У разі не суміщення установчої бази з вимірювальною, величина погрішності базування визначається графоаналітичним методом, виходячи з прийнятої схеми обробки і базування (рис. 12).

У випадку, коли контролюється розмір L (відстань від площини, що фрезерується до конструкторської бази, тобто точки K), необхідно враховувати, що із зміною розміру вала положення точки K в просторі буде змінюватись.

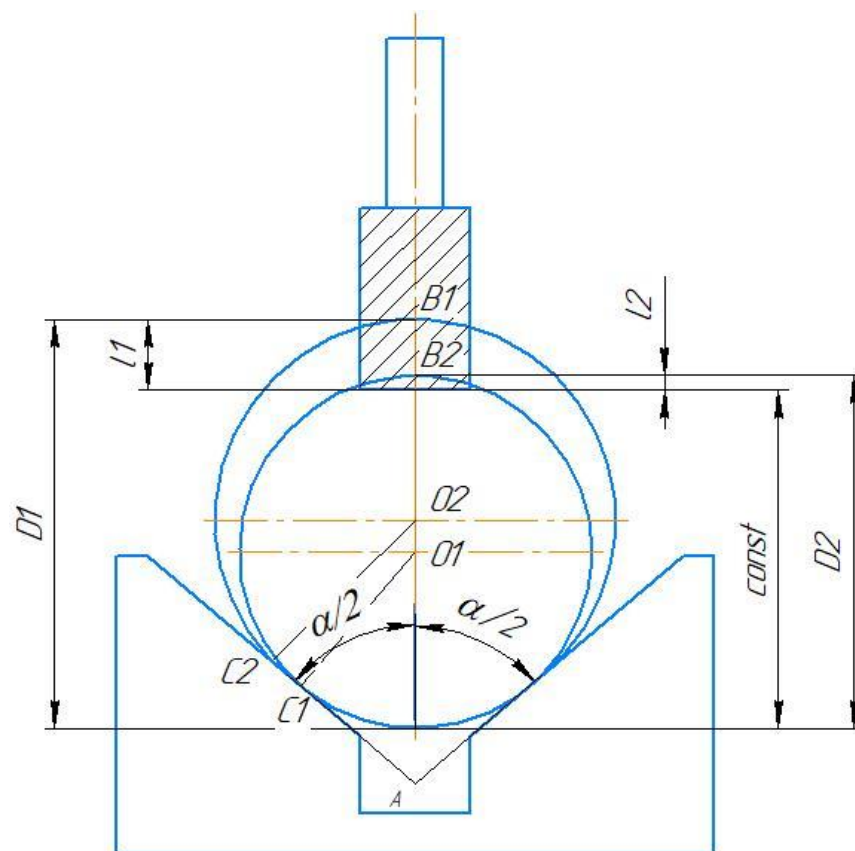


Рис. 12. Схема базування валу в призму

З приведеної схеми видно, що граничні відстані вимірювальних баз B_1 і B_2 від ріжучої кромки B_3 встановленого на розмір інструмента залежать від різниці діаметрів D_1 і D_2 , тобто від допуску на розмір діаметра деталі (T_D).

Різниця цих граничних відстаней визначається величиною відрізка B_1B_2 , яка дорівнює різниці l_1 і l_2 , та виражає величину погрішності базування ε_6 . Останню можна визначити, виходячи з геометричної залежності:

$$\begin{aligned}\varepsilon_6 &= l_1 - l_2 = B_1 - B_2 = A B_1 - A B_2 \\ AB_1 &= A O_1 + O_1 B_1 = \frac{O_1 C_1}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + O_1 B_1 = \frac{D_1}{2\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + \frac{D_1}{2} = \frac{D_1}{2} \left(\frac{1}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + 1 \right) \\ AB_2 &= A O_2 + O_2 B_2 = \frac{O_2 C_2}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + O_2 B_2 = \frac{D_2}{2\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + \frac{D_2}{2} = \frac{D_2}{2} \left(\frac{1}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + 1 \right) \\ \varepsilon_6 &= A B_1 - A B_2 = \frac{D_1}{2} \left(\frac{1}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + 1 \right) - \frac{D_2}{2} \left(\frac{1}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + 1 \right) = \\ &= \frac{D_1 D_2}{2} \left(\frac{1}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + 1 \right)\end{aligned}$$

Тобто формула для розрахунку похибки базування приймає вигляд:

$$\varepsilon_6 = \frac{T_D}{2} \left(\frac{1}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + 1 \right)$$

де: D_1 і D_2 — найбільший і найменший діаметри деталі;

α — кут призми;

T_D -допуск на розмір деталі діаметром D .

Похибка закріплення. Фіксація положення заготовки перед обробкою називається закріпленням. Ця дія практично завжди змінює положення поверхонь заготовки, що було досягнуте при базуванні. При цьому найбільш негативно впливає на точність обробки зміщення вимірювальної бази в напрямку вимірюваного розміру.

Похибка закріплення – це різниця граничних значень зміщення вимірюваної бази в напрямку вимірюваного розміру під дією сил закріплення. Ця похибка виникає як наслідок пружних деформацій у системі силового замикання пристрою:

- затискний елемент;
- заготовка;
- встановлюваний елемент;
- корпус пристрою.

На рис. 13.а наведена принципова схема виникнення похибки закріплення.

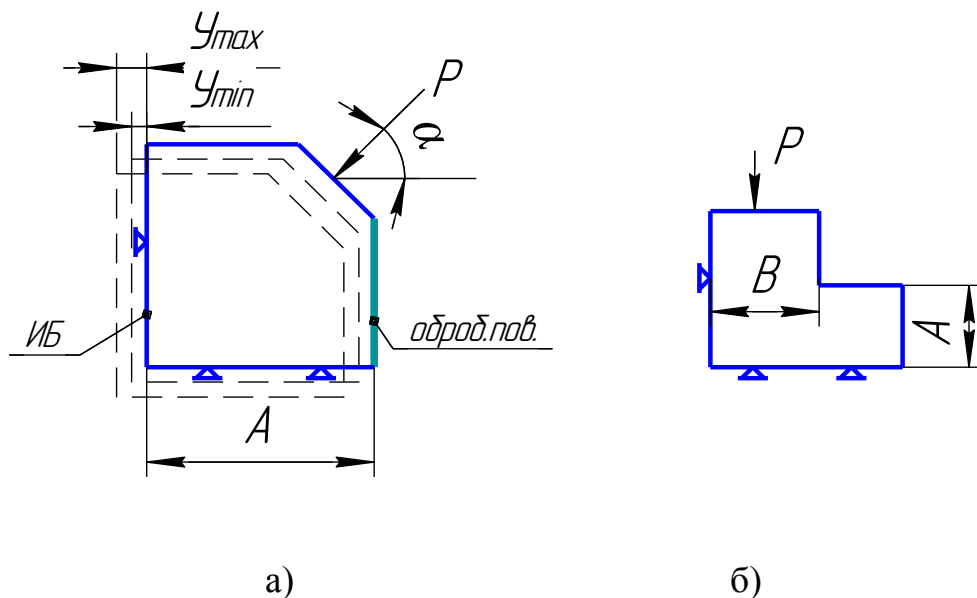


Рис. 13. Схема виникнення похибки закріплення

Виходячи з визначення поняття похибки закріплення, її значення можна записати у вигляді:

$$\varepsilon_z = Y_{\max} - Y_{\min}$$

Як і похибка базування похибка закріплення завжди визначається для конкретного параметра обробки (розмір, точність взаємного розміщення поверхонь тощо).

Чисельне значення похибки закріплення можна визначити:

$$\varepsilon_3 = CP^n \cos \alpha$$

де C – коефіцієнт, що визначає вид контакту, матеріалу заготовки та стан її поверхневого шару;

P – сила закріплення на опорі;

n – показник степеня $n < 1$;

α – кут між напрямком дії сили і напрямком вимірюваного розміру.

Тому для розміру А рис.13 б похибка закріплення має максимальне значення ($\cos 0^\circ = 1$), а для розміру В - $\varepsilon_{зв} = 0$ ($\cos 90^\circ = 0$).

У зв'язку з тим, що елементи силового замикання не є абсолютно жорсткими, залежність зміщення вимірюваної бази від величини сили затиску має такий вигляд (рис.14).

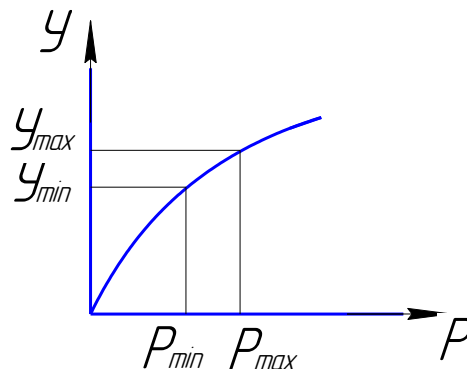


Рис.14. Залежність сила (P)-переміщення (Y)

Чим більша різниця сил затиску при обробці заготовок партії, тим більшого значення має похибка закріплення:

$$\varepsilon_3 = Y_{\max} - Y_{\min}$$

У той же час, знаючи значення похибки закріплення, визначене або розрахунковим методом або дослідним шляхом, її можна враховувати при налагодженні верстата.

Для зменшення впливу похибки закріплення на точність треба щоб різниця сил закріплення була мінімальною:

$$(P_{\max} - P_{\min}) \rightarrow \min.$$

Для цього потрібно стабілізувати силу затиску, що можна зробити використавши механізований привід затиску (пневмо; гідро та ін.). Тому при обробці точних розмірів рекомендується застосовувати механізовані пристрої навіть за умови незначних обсягів випуску.

Результати впливу похибки затиску на точність обробленої поверхні значною мірою залежать від форми поверхні затискного елемента пристрою. На рис. 15 наведена схема встановлення у трикулачковому патроні тонкостінної втулки.

При її закріпленні під дією сил затиску, що прикладені у точках А, виникають пружні деформації, які змінюють форму зовнішньої поверхні втулки (рис. 15.а).

Оброблений отвір має циліндричну форму (рис. 15. б).

Після розкріплення пружні деформації зникають, і зовнішня поверхня знову набирає циліндричної форми, а оброблений отвір зазнає похибки - відхилення від круглості (рис.15. в).

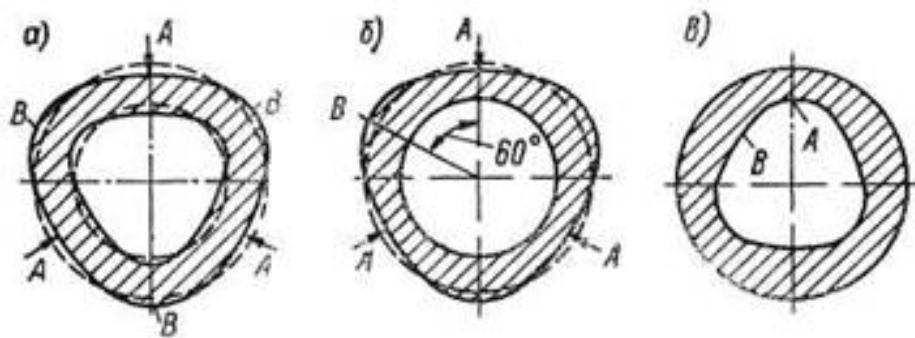


Рис. 15. – Схема виникнення похибки форми отвору при обробці тонкостінної втулки у трикулачковому патроні

Для зменшення впливу сил затиску на деформацію заготовок треба намагатися збільшувати кількість затискних елементів, наближати їх форму до форми технологічної бази заготовки тощо [8].

Похибки обробки, що пов'язані з пружними деформаціями елементів технологічної системи верстат-притоскування-інструмент-деталь (ВПД)

Практично кожна система ВПД являє собою пружну систему, деформації елементів якої під час обробки призводять до виникнення похибок форми та розмірів оброблених поверхонь.

Для оцінки здатності технологічної системи створювати опір зовнішнім навантаженням використовують поняття «жорсткість» та «піддатливість».

Жорсткість - це здатність технологічної системи створювати опір зовнішнім навантаженням. Для її кількісної оцінки жорсткості введений коефіцієнт жорсткості - j , який визначають за формулою

$$j = \frac{P_y}{y} \quad (\text{кН/мм, Н/мкм}),$$

де P_y – сила різання, що викликає зміщення елементів системи;

y – зміщення певного елемента системи ВПД (або сумарне зміщення) під дією цієї сили.

Коефіцієнт жорсткості також можна визначити із співвідношення прирощення сили ΔP до прирощення переміщення ΔY (кН/мм, Н/мкм).

$$j = \frac{\Delta P}{\Delta Y}$$

Величина, зворотна жорсткості ω , (мм/кН, мкм/Н), називається *піддатливістю* системи:

$$\omega = 1/j$$

Піддатливість – це зміщення елемента системи (або сумарне зміщення) під дією одиниці сили.

Жорсткість системи ВПД не є постійною величиною у процесі роботи.

Як правило, збільшення сили, що діє на систему, не викликає прямо пропорційного збільшення її переміщення.

Величина пружних переміщень поступово зменшується при зростанні сили і може навіть перейти у пластичні або руйнівні деформації.

Велике значення жорсткості при механічній обробці призвело до розробки наступних методик розрахунку та експериментальної перевірки окремих складових технологічної системи:

- 1) статичний метод (випробування при непрацюючому верстаті);
- 2) виробничий метод (випробування при обробці заготовок);
- 3) динамічний метод (випробування в процесі коливачь).

Найпростішим методом оцінки жорсткості технологічної системи є статичний метод. Однак, у випадку, коли верстат не працює, не враховуються температурні фактори, поштовхи та вібрації, які збільшують деформацію технологічної системи.

Сила різання викликає пружну деформацію елементів технологічної системи, а коливання сил різання призводять до постійної зміни пружних деформацій.

Якщо процес різання стійкий (нормальний), то різальний інструмент і деталь здійснюють тільки рухи, які передбачені схемою обробки. Наприклад, при точінні шпиндель з деталлю рівномірно обертаються, а супорт з різцем здійснюють рівномірний поступальний рух. Але, в деяких випадках нормальний процес різання порушується. Виріб та інструмент, окрім передбачених рухів, починають здійснювати також періодичні коливання - тобто виникають вібрації.

Періодичні взаємні переміщення виробу і інструменту приводять до того, що на обробленій поверхні залишаються характерні хвилі і шорсткість поверхні зростає. Верстати, що працюють в режимах вібрацій,

зношуються значно швидше, стикові зазори в них збільшуються і обладнання швидше виходить з ладу. Крім того, при вібраціях помітно знижується стійкість інструменту, а іноді вібрації приводять до поломки інструменту. Значний шум, що виникає при вібраціях, викликає швидко втому робітника. Можливість виникнення інтенсивних вібрацій в багатьох випадках примушує знижувати режими різання, отже вимушено обмежувати продуктивність металорізальних верстатів. Розрізняють такі види коливань:

- власні або вільні коливання;
- вимушені коливання;
- автоколивання.

Власні коливання виникають під впливом яких-небудь поштовхів і швидко затухають. Частота власних коливань визначається масою і жорсткістю системи, що коливається. В процесі різання на верстатах у зв'язку з великими силами опору затухання власних коливань відбувається швидко.

Вимушені коливання виникають під дією зовнішньої збуджуючої періодичної сили. Частота вимувених коливань визначається частотою збуджуючої сили. Амплітуда вимувених коливань різко зростає в тому випадку, коли частота збуджуючої сили близька до частоти власних коливань елементів системи верстата (резонанс). При різанні вимушені коливання в основному викликаються перервним (періодичним) характером процесу різання, дисбалансом частин, що обертаються, дефектами передач верстата і т.п.

Автоколивання виникають не під дією зовнішньої збуджуючої періодичної сили, а під дією такої змінної сили, яка створюється і керується самим коливальним рухом системи (самозбудження). Частота автоколивань близька до власної частоти коливання елементів системи. Наприклад, при точінні зустрічаються як низькочастотні коливання,

пов'язані з коливаннями вала і його опор, так і високочастотні коливання, пов'язані з коливаннями різця. На інтенсивність автоколивань низької частоти впливають: жорсткість системи, сили тертя, швидкість різання, глибина різання, подача, головний кут в плані ріжучого інструменту, ступінь затуплення ріжучих кромки і т. д.

Основними заходами, що підвищують вібростійкість верстатів що проектуються є:

- підвищення жорсткості;
- посилення здатності системи демпфувати (гасити) коливання (застосування динамічних гасників коливань);
- використання матеріалів з високим внутрішнім тертям;
- поліпшення динамічної урівноваженості всіх частин верстата, що швидко обертаються (балансування).

Вібрації, що виникають під час роботи верстата, усуваються шляхом регулювання підшипників шпинделя, направляючих і стиків, більш ретельною перевіркою і урівноваженням заготовки, що обробляється, підбором відповідного інструмента.

Ефективним засобом боротьби з вібраціями, що виникають в процесі різання, є спеціальні пристосування - гасники коливань, які встановлюють на самому верстаті [9].

Похибки від температурних деформацій елементів технологічної системи ВПД

У процесі обробки деталей різанням механічна робота в значній частині перетворюється в теплову енергію, внаслідок чого відбуваються нагрівання технологічної системи ВПД.

Основними джерелами тепла в системі виступають: .

- зона різання;
- агрегати;

- пари тертя;
- навколишнє середовище.

Це тепло розподіляється поміж стружкою, заготовкою, інструментом, поглинається масою верстата, в результаті чого виникає змінна систематична похибка обробки заготовок. Похибка загальних теплових деформацій складається із трьох складових:

- а) теплових деформацій верстата,
- б) теплових деформацій заготовки,
- в) теплових деформацій інструменту.

Для більшості способів обробки тепло розподіляють таким чином:

- 10-15% - в інструмент;
- до 10% - у заготовку (при свердлінні до 50%);
- до 5% - у навколишнє середовище;
- 50-80% - у стружку.

До агрегатів, що виділяють теплову енергію у систему, відносять електродвигуни, насоси, масляні резервуари та ін. Для зменшення впливу їх тепловіддачі в конструкціях верстатів ці елементи намагаються розміщувати за межами станин.

Пари тертя. Найбільше виділення тепла у парах тертя викликають пари тертя ковзання, а також швидкохідні елементи: шпинделі, коробки швидкостей та подач.

Під навколишнім середовищем треба розуміти наявність джерел тепла, що не належать системі, наприклад, сонячна енергія, що проникає через вікна, системи опалення приміщень тощо.

Для зменшення впливу тепловиділення навколишнього середовища вживають таких заходів:

- 1) встановлення кондиціонерів (це в основному термоконстантні цехи);
- 2) застосування сонцезахисних козирків, світлофільтрів;

- 3) установлення обладнання на термоізолювальних фундаментах;
- 4) розміщення виробничих приміщень на певному рівні, нижче рівня земної поверхні (10 і більше метрів).

Теплові деформації верстата виникають внаслідок нагрівання його частин від дії тертя в підшипниках та направляючих; теплоти, що надходить від вбудованих електродвигунів, від охолоджуючої рідини та гідросистеми; тепла, що випромінюють зовнішні джерела (батареї, сонячні промені).

Тепловий стан системи може бути стаціонарним та нестаціонарним. В першому випадку система працює в умовах теплової рівноваги, коли кількість тепла, що надходить від будь-якого джерела відповідає теплу, яке відводиться. Температура технологічної системи при тепловій рівновазі практично не змінюється. До умов стаціонарного теплового стану наближаються процеси обробки невеликих заготовок на верстатах, що пройшли період попереднього нагрівання. Нестационарний тепловий стан спостерігається в період запуску верстата після його довготривалої зупинки. Будь-який процес можна вважати нестаціонарним, якщо тепло, що виділяється при різанні, помітно нагріває заготовку.

Таким чином, для визначення впливу теплових деформацій на точність механічної обробки розглядають два періоди в роботі верстата:

- 1) період нестаціонарного теплового стану - від початку пуску до отримання теплової рівноваги системи;
- 2) період стаціонарного теплового стану – від входу системи в режим теплової рівноваги і до закінчення обробки.

Нерівномірне нагрівання станини верстата обумовлено нераціональним з погляду теплових деформацій розташуванням електродвигунів, електронасосів, резервуарів для оливи і охолоджувальної рідини та інших джерел тепловиділення.

Одним із основних джерел утворення тепла у верстаті є шпindelна бабка. Найвища температура спостерігається в місцях розташування підшипників, шпинделя і підшипників швидкохідних валів. Температура валів коробок швидкостей на 30-40 % вища за температури корпусів, внаслідок чого і температурні деформації валів більші за температурні деформації корпусів.

Якщо в шпindelній бабці достатньо оливи для змащування рухомих деталей та частин верстата, які контактують між собою та труться, то нагріта олива може вирівнювати температури всієї корпусної деталі. В такому випадку для приблизних розрахунків теплової деформації частин верстата ΔL використовують формулу:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot (\Delta \tau),$$

Де α – температурний коефіцієнт лінійного розширення,

L - лінійний розмір елемента верстата,

$\Delta \tau$ - різниця температур між корпусом та навколишнім середовищем.

Дану формулу можна використовувати для визначення подовження нагрітого шпindelного вала, тобто визначення осьової температурної деформації шпинделя. Якщо переміщення заднього підшипника в осьовому напрямку немає, то переміщення переднього кінця може суттєво вплинути на точність деталі при експлуатації попередньо налаштованого верстата. Наприклад, при довжині шпинделя $L = 800$ мм, $\Delta \tau = 10$ °C та $\alpha = 0,000012$ °C⁻¹ (1/°C) деформація ΔL складатиме 0,1 мм. Знайдена величина може викликати значну похибку при обробці заготовки на налагодженому верстаті, тому для її компенсації верстат необхідно періодично під налагоджувати.

Температурні деформації металорізальних верстатів в багатьох випадках виявляються співрозмірними з допусками на деталі, які обробляються на цих верстатах. Для усунення похибки обробки, пов'язаної з тепловими деформаціями верстата, проводять наступні заходи:

- 1) проводиться попереднє прогрівання верстата до настання стану теплової рівноваги. Розігрівання верстата може проводитися його обкаткою на холостому ході впродовж 2 - 3 годин.
- 2) обробку заготовок проводять без значних перерв в роботі верстата, щоб не виникало значної зміни температури обладнання;
- 3) розташовують джерела тепла (наприклад, гідростанції) поза верстатом. Таким чином зменшується теплоутворення і збільшується тепловіддача;
- 4) проводять вирівнювання температурного поля станин і стійок штучним підігріванням холодніших стінок;
- 5) вводять температурні компенсатори;
- 6) створюють цехи з постійною температурою (термоконстантні споруди);
- 7) створюють автоматичні системи із зворотним зв'язком, які поновлюють координати верстата за рахунок спеціального підігрівання або охолодження окремих частин корпусних деталей.

Теплові деформації частин верстату, що виникають і направлені в напрямку нормалі до поверхні, яка піддається обробці, найбільше впливають на точність форми та розміру деталі, що і є предметом експериментальних досліджень.

Окрім теплових деформацій верстата, на точність механічної обробки впливають також *теплові деформації заготовки*, яка нагрівається внаслідок виділення тепла в зоні різання, що супроводжується зміною розмірів заготовки. Причому при рівномірному нагріванні заготовки

виникають похибки розмірів, а при місцевому нагріванні – похибки форми, обумовлені викривленням (коробленням) поверхні.

Нагрівання заготівки залежить від виду та режимів обробки. Для таких методів обробки, як точіння, фрезерування, стругання, зовнішнє протягування основна кількість тепла акумулюється в стружці, а в заготівку, що оброблюється, переходить незначна кількість тепла. А при свердлінні спостерігається інший розподіл тепла – велика його частина залишається в заготівці.

При токарній обробці із збільшенням швидкості різання і подачі температура нагріву заготівки зменшується із-за зменшення тривалості теплової дії на заготівку. Збільшення глибини різання, навпаки, приводить до зростання температури нагрівання заготівки в результаті збільшення площі контакту інструменту із заготівкою і збільшення кількості тепла, що утворюється в зоні різання. Зокрема, при токарній обробці з стружкою відходить 50–86 % тепла (а при високих швидкостях різання – понад 90 %); 10–40 % тепла переходить в різець; 3–9 % тепла залишається в заготівці і близько 1 % розсіюється в навколишнє середовище.

Слід зазначити, що теплові деформації заготівки мають істотний вплив лише при виготовленні тонкостінних деталей, а при обробці суцільних, масивних виробів їх вплив на точність обробки невеликий.

Теплові деформації в інструментах виникають внаслідок переходу частини тепла із зони різання в різальний інструмент, що викликає його нагрівання і зміну розмірів.

При токарній обробці найбільша частина похибок, викликана тепловими деформаціями, обумовлена подовженням розмірів, рис. 16.

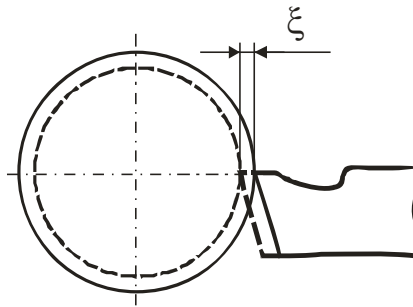


Рис. 16. Теплові деформації різця в період обробки.

В зоні різання температура під час обробки досягає 800–1000 °С. Найбільше зростання теплових деформацій різця спостерігається на початку роботи, потім інтенсивність зростання зменшується і через 15–30 хв. настає стан теплової рівноваги, рис. 4.6, в період якого вплив деформації ріжучого інструменту можна звести до мінімуму відповідною підналадкою верстата. Подовження різця $\xi_{ст}$ в умовах його теплової рівноваги при звичайних умовах роботи може досягати 30–50 мкм.

Температура по довжині різця розподіляється нерівномірно – найбільша біля вершини різця, а найменша – в хвостовій частині, рис. 17. Причому, нагрівання стрижня різця до граничних температур (80–180°С) відбувається за 2–3 хв.

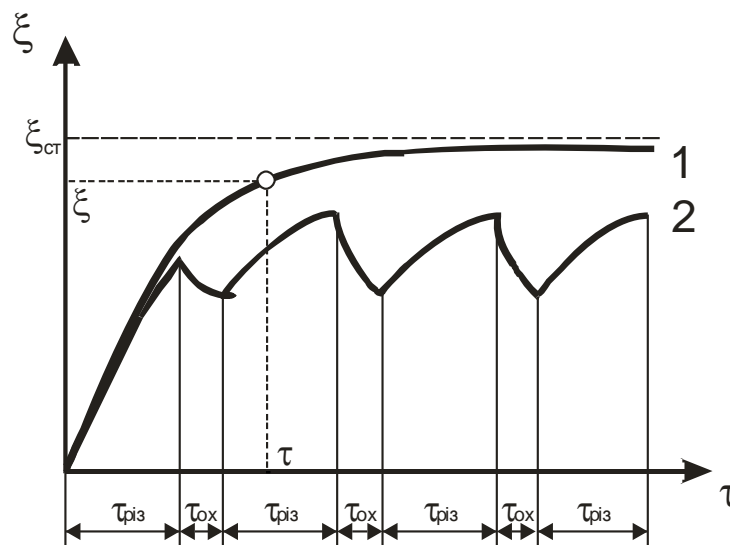


Рис. 17. Температурні деформації різця: 1 – безперервна обробка, 2 – різання з перервами або обробка партії заготовок.

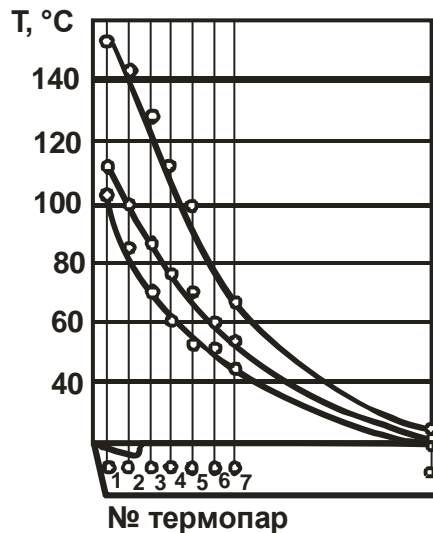


Рис. 18. Розподілення температури по довжині різця після 20 хв. роботи при різних передніх кутах різця та наступному режимі різання: $v = 94,5$ м/хв, $t = 2$ мм, $s = 0,15$ мм/об, $1 - \gamma = -5^\circ$, $\gamma = 12^\circ$, $\gamma = 25^\circ$.

Величина температурних деформацій різця залежить від його геометричних параметрів та режиму різання, фізико-механічних властивостей матеріалу, який обробляється, площі поперечного перерізу стрижня та вильоту різця.

Збільшення переднього кута різця γ призводить до зниження температури тіла різця (рис. 18), що пояснюється зменшенням сили різання та тертя в зоні контакту стружки з передньою поверхнею різця. Із збільшенням кута різання δ і головного кута в плані ϕ спостерігається збільшення температури в зоні різання. Збільшення радіуса закруглення r вершини різця призводить також до збільшення температури тіла різця під час обробки. Суттєве зростання температури спостерігається і при затупленні різця, що пояснюється підвищенням сили різання та тертя при зніманні стружки [10].

Величина переднього γ , заднього α кутів різця та радіуса закруглення r значно менше впливає на теплову деформацію порівняно із складовими режиму різання – швидкості v , подачі S , та глибини різання t . З ростом

параметрів процесу різання v , S , t підвищується температура в зоні різання і збільшуються температурні деформації інструменту.

Суттєво впливає на подовження різця величина його вильоту, поперечний переріз та товщина пластинки твердого сплаву. Збільшення площі поперечного перерізу стрижня різця, а також зменшення його вильоту дозволяє зменшити величину теплової деформації інструменту. Наприклад, збільшення перерізу корпусу різця в два рази зменшує температуру на 50 %. Зменшення товщини ріжучої твёрдосплавної пластинки призводить до збільшення нагрівання та подовження різця.

Подовження різця зростає також з підвищенням межі міцності або твердості за Брінелем матеріалу, який оброблюється даним різцем.

У результаті температурних деформацій інструменту виникає похибка точності обробки та геометричної форми поверхні, яка оброблюється, тому що при цьому змінюється глибина різання, а циліндрична поверхня набуває конусності.

Зниження впливу температурних деформацій досягається застосуванням мастильно-охолоджуючих рідин. При цьому необхідно створювати умови проникнення мастильно-охолоджуючої рідини безпосередньо в зону обробки, що дозволяє суттєво підвищити її ефективність. Рясним охолодженням подовження різців зменшується в 3–3,5 рази.

Величина теплових деформацій різця визначається або за наближеними аналітичними розрахунками, що відзначаються складністю врахування закономірностей розподілу тепла та ін., або експериментальними методами.

За одним із експериментальних методів теплова деформація інструменту визначається за допомогою вимірювання температури різця термопарами в різних його точках, як показано на рис. 18. Основне тепло під час роботи різця зосереджується в його консольній частині, тому під

час обробки спостерігається нагрівання саме цієї частини різця. Величину подовження головки різця розраховують по середній температурі всіх термопар за формулою:

$$\xi = L_p \cdot \alpha \cdot T_{cp},$$

де L_p – виліт різця,

α – коефіцієнт лінійного розширення,

T_{cp} – середня температура.

Інший метод враховує основні фактори процесу різання металів і для сталого теплового стану та за умови рівномірного розподілу тепла по консольній частині різця подовження різця визначають за формулою:

$$\xi_{ст} = C \cdot \frac{L_p}{F} \cdot \sigma_B \cdot (t \cdot S)^{0.75} \cdot \sqrt{v},$$

де $\xi_{ст}$ – максимальне подовження різця, що відповідає стану теплової рівноваги, мкм;

C – коефіцієнт, що залежить від умов різання;

L_p – виліт різця, мм;

F – поперечний переріз різця, мм²;

σ_B – межа міцності матеріалу, який оброблюється, Н/мм²;

t – глибина різання, мм;

S – подача, мм/об;

v – швидкість різання, м/хв.

Ще один експериментальний метод визначення температурної деформації різця базується на безпосередніх вимірюваннях зміни розмірів різця при його охолодженні після певного періоду роботи, що й є предметом експериментальних досліджень. За результатами дослідів

будують графік залежності температурних деформацій інструменту від часу або шляху його різання [11].

Якість поверхні деталі після обробки, яка може дати невірні показники при вимірюванні

Якість поверхні деталі після обробки може суттєво впливати на точність показників при вимірюванні. Якщо поверхня деталі після обробки має велику шорсткість, то при контролі розміру деталі вимірювання відбувається по вершинкам і впадинам (рис. 19).

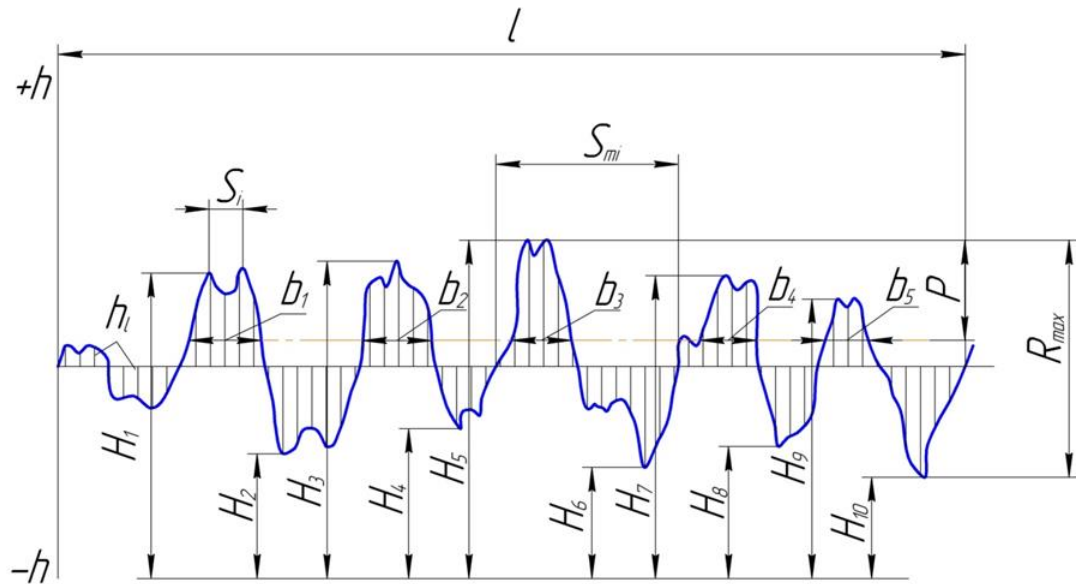


Рис. 19. Параметри шорсткості.

Що не дає правильної уяви про розмір. Вершинки шорсткості поверхні при спряженні з поверхнею іншої деталі зминаються, і дійсний розмір деталі таким чином відрізняється від розміру отриманого при вимірюванні після обробки. Тому можна зробити висновок що точність обробки стає невизначеною, якщо якість поверхні після обробки не відповідає умовам роботи деталі. Щоб досягти заданої точності розмірів деталі і встановити при контролі дійсний отриманий розмір необхідно при обробці забезпечити необхідну шорсткість поверхні.

РОЗРАХУНОК МІЖОПЕРАЦІЙНИХ ПРИПУСКІВ

Для визначення величин припусків користуються розрахунково-аналітичним методом, який базується на аналізі виробничих похибок, які виникають при конкретних умовах отримання заготовок і їх обробки, на визначенні величини елементів, які складають припуск і їх додаванні. На основі розрахунку припусків встановлюються оптимальні проміжні розміри заготовок по всіх технологічних переходах [12].

Припуском на обробку називають шар матеріалу, який видаляється з поверхні заготовки в процесі її обробки.

Проміжним припуском називають шар матеріалу, необхідний для виконання необхідного переходу. Проміжний припуск визначається різницею розмірів, які отримують на суміжних (попередньому і виконаному) технологічних переходах процесу обробки даної поверхні (рис.20).

Для зовнішніх поверхонь проміжний припуск:

$$Z_i = a_{i-1} - a_i;$$

для внутрішніх поверхонь:

$$Z_i = a_i - a_{i-1},$$

де Z_i - припуск на виконуваний перехід;

a_{i-1} - розмір, отриманий на суміжному попередньому переході;

a_i - розмір, отриманий на виконаному технологічному переході.

Загальним припуском називають шар матеріалу, необхідний для виконання всієї сукупності технологічних переходів, тобто всього процесу обробки даної поверхні від чорної заготовки до готової деталі. Загальний припуск визначається різницею розмірів чорної заготовки і готової деталі.

Для зовнішніх поверхонь загальний припуск:

$$Z_0 = a_3 - a_d;$$

для внутрішніх поверхонь:

$$Z_0 = a_d - a_3,$$

де Z_0 - загальний припуск на обробку;

a_3 - розмір даного елемента у заготовці;

a_d - розмір того ж елемента у готової деталі.

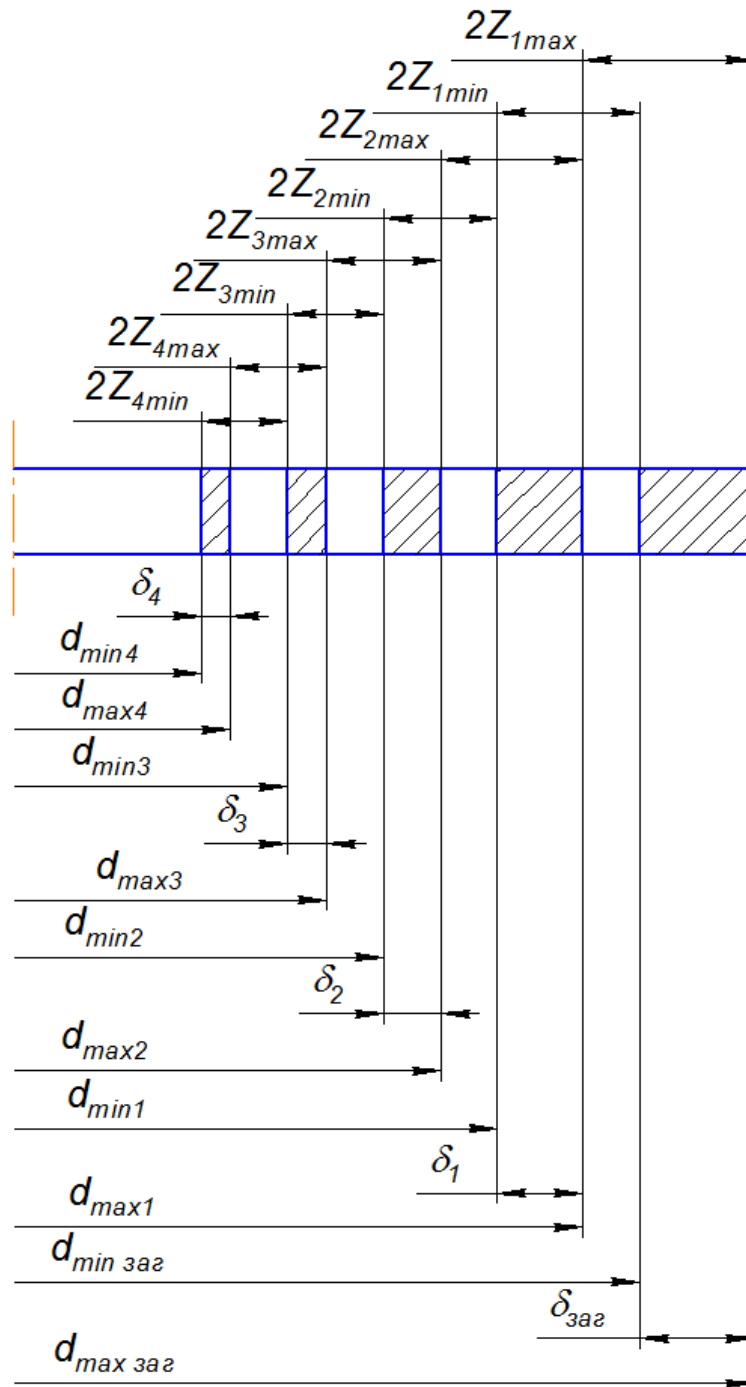


Рис.20. Схема розташування припусків по технологічним операціям обробки деталі класу “вали”

Для зовнішніх поверхонь проміжний припуск:

$$Z_i = a_{i-1} - a_i;$$

для внутрішніх поверхонь:

$$Z_i = a_i - a_{i-1},$$

де Z_i - припуск на виконуваний перехід;

a_{i-1} - розмір, отриманий на суміжному попередньому переході;

a_i - розмір, отриманий на виконаному технологічному переході.

Загальним припуском називають шар матеріалу, необхідний для виконання всієї сукупності технологічних переходів, тобто всього процесу обробки даної поверхні від чорної заготовки до готової деталі. Загальний припуск визначається різницею розмірів чорної заготовки і готової деталі.

Для зовнішніх поверхонь загальний припуск:

$$Z_o = a_z - a_d;$$

для внутрішніх поверхонь:

$$Z_o = a_d - a_z,$$

де Z_o - загальний припуск на обробку;

a_z - розмір даного елемента у заготовки;

a_d - розмір того ж елемента у готової деталі.

При обробці заготовок на металорізальних верстатах похибки форм заготовок копіюються, але закономірно зменшуються при кожному виконаному переході. Разом з тим при виконанні технологічних переходів механічної обробки похибки можуть виникати знову в залежності від застосовуваного методу обробки, режимів різання, точності поверхні та інших технологічних факторів. Тому результативні похибки обробки є сумою похибок, які виникають як від точності заготовок, так і при механічній обробці.

Припуск на механічну обробку повинен бути мінімальним, але достатнім для того, щоб можна було видалити похибки попередньої обробки. При визначенні розміру припуску необхідно враховувати

відхилення розмірів, геометричні похибки форм, поверхневі мікронерівності, глибину дефектного поверхневого шару, а також просторові відхилення взаємопов'язаних поверхонь і похибки встановлення.

При механічній обробці сталених заготовок у поверхневому шарі виникає наклеп. Тому при послідовних операціях обробки повинен зніматись поверхневий шар з різко вираженою деформацією матеріалу.

Просторові відхилення оброблюваних поверхонь можуть бути у вигляді кривизни і жолоблення заготовки, ексцентричності отворів відносно зовнішньої поверхні, непаралельності і не-перпендикулярності осей і поверхонь і тому подібних відхилень у взаємному розташуванні елементів деталей. Вони повинні також враховуватись при розрахунку припусків на обробку.

Можливу похибку встановлення деталі при обробці необхідно компенсувати відповідним збільшенням припуску.

При розрахунку припусків на обробку необхідно визначити мінімальний припуск, достатній для того, щоб забезпечити отримання необхідних деталей.

Мінімальний припуск при обробці зовнішніх поверхонь визначається найменшими граничними розмірами, а при обробці внутрішніх поверхонь — найбільшими граничними розмірами заготовок на суміжних технологічних переходах.

Величина мінімального припуску на обробку визначається за формулами:

асиметричний припуск при послідовній обробці протилежних поверхонь

$$Z_{i\min} = R z_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i;$$

симетричний припуск при паралельній обробці протилежних поверхонь

$$2Z i_{\min} = 2(R z_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i);$$

симетричний припуск при обробці зовнішніх і внутрішніх поверхонь обертання:

$$2Z i_{\min} = 2(R z_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2});$$

де $R z_{i-1}$ - висота мікронерівностей поверхні на попередньому переході;

T_{i-1} - глибина дефектного поверхневого шару, отриманого на попередньому переході;

ρ_{i-1} - сумарне значення просторових відхилень взаємопов'язаних поверхонь, які залишилися після виконання попереднього переходу;

ε_i - похибка встановлення заготовки на верстаті при виконуваному переході.

Значення ρ визначається як векторна сума просторових відхилень:

$$\bar{\rho} = \bar{\rho}_1 + \bar{\rho}_2;$$

Для однакового напрямку векторів:

$$\rho = \rho_1 + \rho_2;$$

Для протилежного напрямку векторів:

$$\rho = \rho_1 - \rho_2;$$

У тих випадках, коли неможливо передбачити напрямок, векторів їх сумують за правилом квадратного кореня:

$$\rho = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2};$$

Похибка встановлення заготовки для обробки на верстаті визначається в загальному випадку як векторна сума похибок базування ε_6 і похибки закріплення ε_3 :

$$\varepsilon = \varepsilon_6 + \varepsilon_3;$$

При однаковому напрямку векторів:

$$\bar{\varepsilon} = \bar{\varepsilon}_0 + \bar{\varepsilon}_3;$$

При протилежному напрямку векторів:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - \varepsilon_3;$$

Коли передбачити напрямок векторів неможливо, їх сумують за правилом квадратного кореня:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_0^2 + \varepsilon_3^2};$$

Дійсні припуски на обробку в партії заготовок коливаються в межах від $Z_{i \min}$ до $Z_{i \max}$ залежно від дійсних розмірів заготовок.

Для інших випадків видів обробки розрахункові формули Z_{\min} наведено в додатку.

Максимальний припуск на обробку визначається за формулами:

для асиметричного припуску

$$Z_{i \max} = Z_{i \min} + \delta_{i-1} - \delta_i;$$

для симетричного припуску

$$2Z_{i \max} = 2Z_{i \min} + \delta_{Di-1} - \delta_{Di},$$

де $Z_{i \max}$ - максимальний припуск на виконуваний перехід;

δ_{i-1} , δ_{Di-1} - допуск на розмір на попередньому переході;

δ_i , δ_{Di} - допуск на розмір на виконуваному переході.

Допуск на припуск - це різниця між максимальним і мінімальним припусками на виконуваний перехід:

для асиметричного припуску

$$\delta_z = Z_{i \max} - Z_{i \min};$$

для симетричного припуску

$$\delta_z = 2Z_{i \max} - 2Z_{i \min}.$$

Для кінцевої операції розрахунковим розміром d_p^{\min} буде найменший граничний розмір по кресленню деталі. Для переходу,

попереднього кінцевому, розрахунковий розмір визначається додаванням до найменшого граничного розміру за кресленням допуску на виконуваний перехід та мінімального припуску.

Таким же чином визначаються розрахункові розміри на всі переходи. Найменші граничні розміри по всіх технологічних переходах визначаються округленням розрахункових розмірів до того ж знаку десяткового дробу, з яким даний допуск на розмір для кожного переходу.

Найбільші граничні розміри визначаються шляхом додавання до найменших граничних розмірів допусків [12].

Порядок розрахунку елементів міжопераційного припуску для зовнішніх і внутрішніх поверхонь наведено в табл. 3.

Порядок розрахунку елементів міжопераційного припуску

Таблиця 3.

№	Для зовнішніх поверхонь	Для внутрішніх поверхонь
1	Користуючись робочим кресленням деталі і картою технологічного процесу механічної обробки, записати в розрахункову карту оброблювані поверхні заготовки і технологічні переходи обробки в порядку послідовності їх виконання по кожній поверхні від чорнової заготовки до кінцевої обробки	
2	Записати значення $Rz, T, \rho, \varepsilon, \delta$	
3	Визначити розрахункові величини мінімальних припусків на обробку Z_{\min} по всіх технологічних переходах	
4	Записати для кінцевого переходу в графу “Розрахунковий розмір” найменший граничний розмір деталі по кресленню	Записати для кінцевого переходу в графу “Розрахунковий розмір” найбільший граничний розмір деталі по кресленню
5	Для передостаннього переходу визначити розрахунковий розмір доданням до найменшого граничного розміру по кресленню розрахункового припуску	Для передостаннього переходу визначити розрахунковий розмір відніманням від найбільшого граничного розміру по кресленню розрахункового припуску

Продовження таблиці 3.

№	Для зовнішніх поверхонь	Для внутрішніх поверхонь
6	Послідовно визначити розрахункові розміри для кожного попереднього переходу доданням до розрахованого розміру наступного за ним суміжного переходу розрахункового припуску	Послідовно визначити розрахункові розміри для кожного попереднього переходу відніманням від розрахованого розміру наступного за ним суміжного переходу розрахункового припуску
7	Записати найменші граничні розміри по всіх технологічних переходах, округлюючи їх збільшенням розрахункових розмірів; округлювати до того ж знаку десяткового дробу, з яким дано допуск на розмір для кожного переходу	Записати найбільші граничні розміри по всіх технологічних переходах, округлюючи їх у бік зменшення розрахункових розмірів; округлювати до того ж знаку десяткового дробу, з яким дано допуск на розмір для кожного переходу
8	Визначити найбільші граничні розміри додаванням допуску до округленого найменшого граничного розміру	Визначити найбільші граничні розміри відніманням допуску з округленого найбільшого граничного розміру
9	Записати граничні значення припусків як різницю найбільших граничних розмірів попереднього і виконуваного переходів	Записати граничні значення припусків як різницю найменших граничних розмірів і як різницю найбільших граничних розмірів попереднього і виконуваного переходів
10	Визначити загальні припуски ΣZ_{\max} та ΣZ_{\min}	
11	Зробити перевірку $\Sigma Z_{\max} - \Sigma Z_{\min} = \delta_z - \delta_d$	

Результати розрахунку елементів міжопераційних припусків заносять у табл.4.

Елементи міжопераційного припуску

Таблиця 4.

Технологічний перехід	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий мінімальний припуск Z_{\min} , мкм	Розрахунковий мінімальний розмір d_{\min} , мм	Допуск, δ , мкм	Граничний розмір, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	Rz_{i-1}	T_{i-1}	ρ_{i-1}	ε_i				d_{\min}	d_{\max}	Z_{\min}	Z_{\max}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Підручник (Гриф надано Міністерством освіти і науки України, лист №1/11-9794 від 10.06.2013р.)/Опальчук А.С., Афтанділянц Є.Г., Роговський Л.Л., Семеновський О.Є //Ніжин, ПП Лисенко М.М, 2013.- с 752.
2. Кондаков А.В., Васильев А.С. Выбор заготовок в машиностроении. Справочник. – М.: Машиностроение, 2007 – 560с.
3. ДСТУ EN 10020:2007. Сталі. Визначення і класифікація (EN 10020:2000). – Вид офіц. – на заміну ДСТУ EN 10020:2002. – К.: Держспожив стандарт України. 2009.– IV, 5с.
4. Медвідь М.В., Шабайкович В.А. Теоретичні основи технології машинобудування. За ред. проф. М.В. Медвідя. Львів: Видавниче об'єднання «Вища школа», 1976. – 299 с.
5. Методические указания к расчету припусков (расчетно-аналитический метод) по дисциплине "Технология машиностроения" для студентов специальностей 12.01 и 12.02 всех форм обучения / Сост. В.В. Душинский, В.Г. Беланенко, А.П. Кругляк и др. – К.: КПИ, 1991. – 80 с.
6. Гевко Б.М., Гевко І.Б., Радик Д.Л. Технологія сільськогосподарського машинобудування: Підручник для вищих технічних та аграрно-технічних навчальних закладів / Під ред. проф. Гевка Б.М.. — Київ : Кондор, 2006. — 496 с. — ISBN 966-351-002-1.
7. Проектування технологічного процесу механічної обробки деталі і пристосування. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з курсу «ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ», для студентів напряму підготовки 6.050503 “Машинобудування”/ К.Г. Лопатько, О.В. Зазимко, Г.М. Похиленко, А.В. Поліщук. – Київ. НУБіП України, 2016. – 50 с.
8. Горбацевич А.Ф., Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. Минск: Вышэйшая школа. - 1988. 255 с.
9. Толочин О.І, Похиленко Г.М. Електронний навчальний курс Технологія машинобудування (ГМаш). Ч1.
<http://elearn.nubip.edu.ua/course/view.php?id=1291>

ЗМІСТ

ТЕРМІНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ	3
Особливості конструювання в галузі сільськогосподарського машинобудування	4
Конструкторська підготовка виробництва	8
ОСНОВИ БАЗУВАННЯ ЗАГОТОВОК ПРИ МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ. ПРИНЦИПИ ПОСТІЙНОСТІ ТА СУМІЩЕННЯ БАЗ	18
Класифікація баз	20
Конструкторські бази	21
Технологічні бази	22
Вимірювальні бази	23
Правила вибору технологічних баз	23
Правило шести точок	23
Вибір чорнових і чистових технологічних баз	28
МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНІСТЬ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ	31
Забезпечення заданої точності	32
Основні фактори, які впливають на точність механічної обробки	33
Неточність верстатів	34
Точність виготовлення ріжучого, допоміжного інструментів, пристосування і їх зношування в процесі роботи.	34
Неточність встановлення інструменту і налагодження верстату на розмір	35
Похибка базування і встановлення деталі на верстаті або пристосуванні	35

Похибки обробки, що пов'язані з пружними деформаціями елементів технологічної системи верстат-пристосування-інструмент-деталь (ВПД)	42
Похибки від температурних деформацій елементів технологічної системи ВПД	45
Якість поверхні деталі після обробки, яка може дати невірні показники при вимірюванні	55
РОЗРАХУНОК МІЖОПЕРАЦІЙНИХ ПРИПУСКІВ	56
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	65