

Розділ 3

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛІВ

Для формування практичних вмінь та здатностей проектування технологічних процесів механічного оброблення різанням для деталей різних класів доцільно вирішувати типові технологічні завдання в наступній послідовності:

- *Визначити службове призначення та умови роботи деталі у вузлу*
- *Виконати аналіз фізико-механічних характеристик конструкційних матеріалів, які використовуються для виготовлення заготовок валів та методів виготовлення заготовок*
- *Виконати аналіз характеристик якості, що встановлюються до робочих поверхонь валів*
- *Визначити технологічні бази, які ефективно застосовувати для різних операцій технологічного процесу*
- *Визначити типових послідовностей оброблення елементарних поверхонь валів, які можуть забезпечити досягнення заданих характеристик якості*
- *Спроектувати операційний технологічний процес оброблення валу заданої конструкції*

3.1 Конструктивні особливості валів

Вали за конструктивними ознаками представляють собою сукупність циліндричних, конічних, шліцьових, зубчастих, нарізів, шпонкових, отворів та плоских поверхонь, які об'єднані загальною віссю в єдине геометричне тіло.

Вали та осі складають біля (10-13)% відсотків у загальному обсязі виготовлення деталей машин. Конструкції валів відрізняються за своїм

службовим призначенням, конструктивними особливостями, габаритними розмірами, масою та конструкційними матеріалами. За основними конструктивними ознаками та формою поперечного перерізу вали поділяються (рис.3.1.):

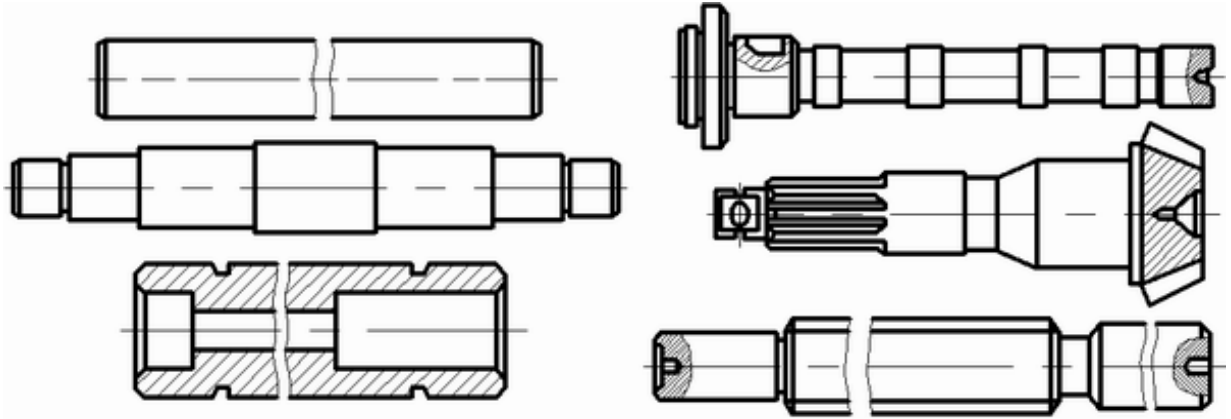


Рис.3.1. Конструктивні особливості валів

- на ступінчасті та безступеневі;
- суцільні та порожнисті;
- гладкі та шліцьові;
- вали з фланцями;
- вали з зубчастими поверхнями (вали-шестерні);
- вали комбінованої конструкції з різноманітними робочими поверхнями.

За формою геометричної осі вали поділяються на:

- прямі (рис.3.1);
- колінчасті (рис.3.2);
- кривошипні (рис.3.3);
- кулачкові, або ексцентрикові (рис.3.4).

За даними наукових досліджень експериментального науково-дослідного інституту металорізальних верстатів (ЭНИМС) встановлено, що 85% валів, які застосовуються у верстатобудуванні та різноманітних

конструкціях редукторів є ступінчасті вали загальною довжиною (150-1000)мм.

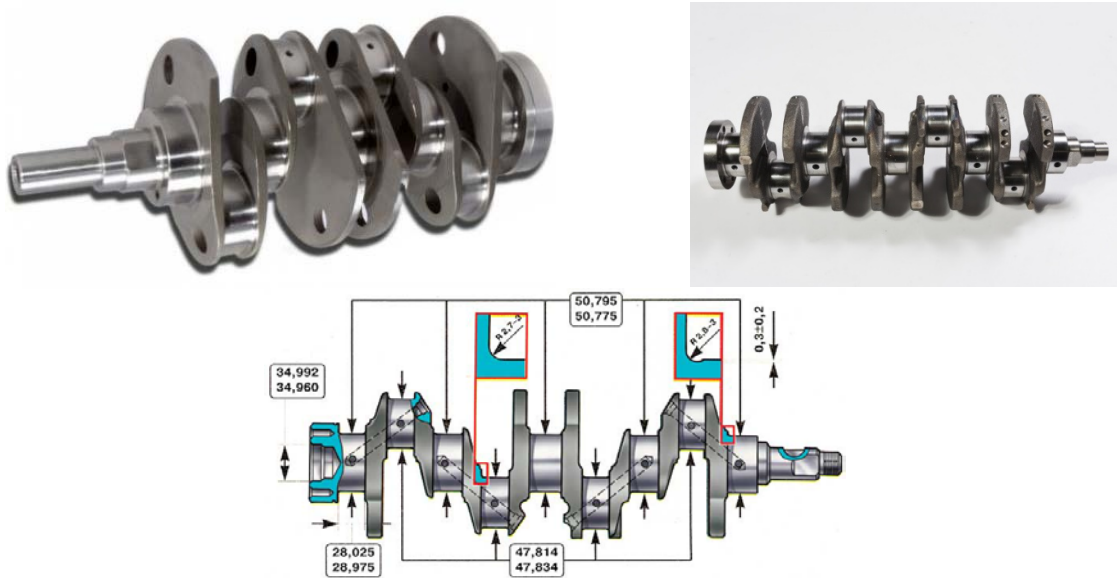


Рис.3.2. Конструктивні особливості колінчастих валів

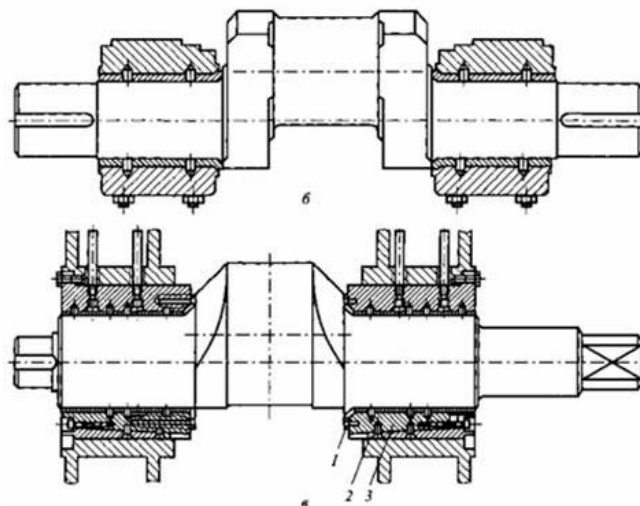


Рис.3.3. Конструктивні особливості кривошипних валів



Рис.3.4. Конструктивні особливості кулачкових валів

Оскільки характеристики якості робочих поверхонь валів формуються при реалізації технологічного процесу оброблення, а довговічність та надійність його роботи залежить від службового призначення та умов роботи, технологу необхідно сформулювати основні експлуатаційні характеристики робочих поверхонь деталі.

За службовим призначенням та за конструктивними особливостями вали застосовуються для передачі крутних моментів впродовж осі, для точного просторового розміщення кінематичних елементів (зубчастих коліс, копирів, кулачків, шківів) та сприйняття навантажень, що діють на ці елементи. В залежності від службового призначення механізмів вали застосовуються в кінематичних та силових передачах.

З урахуванням службового призначення валів, умови їх роботи мають значні відмінності, а загальними умовами для них є сприйняття дії сил, моментів, за певних умов, ударних навантажень. В окремих конструкціях вузлів та механізмів функціонування поверхонь валів відбувається в умовах дії значних сил тертя при наявності значного забруднення та відсутності регулярного змащування.

За умов використання традиційних технологічних процесів виготовлення валів до їх конструктивних особливостей встановлюють такі вимоги конструктивної технологічності:

- співвісність зовнішніх та внутрішніх поверхонь валу та стабільність положення осі його обертання;
- в конструкціях ступінчастих валів доцільно передбачати невеликі перепади діаметрів її окремих елементів і бажано передбачати близьку або однакову величину таких перепадів на різних ділянках валу;
- для конструкцій шпонкових пазів та шліцьових поверхонь необхідно передбачати відкриті поверхні, які можуть бути оброблені більш продуктивним різальними інструментами;
- в конструкціях валів передбачати можливість виготовлення центрових отворів в крайніх торцевих поверхнях валу, які використовуються як

комплект загальних технологічних баз та забезпечують реалізацію технологічного процесу виготовлення валу, контролю параметрів якості та ремонту.

Застосування сучасних токарних верстатів з ЧПУ та багатофункціональних верстатів на їх основі забезпечують ефективно оброблення різноманітних поверхонь валів без технологічних обмежень, тому при проектуванні технологічних процесів їх виготовлення аналіз технологічності конструкції не виконується. Вали використовуються в конструкціях механічних коробок передач автомобілів, тракторів, верстатів у конструкціях різноманітних редукторів (рис.3.5, рис.3.6 та рис.3.7),:

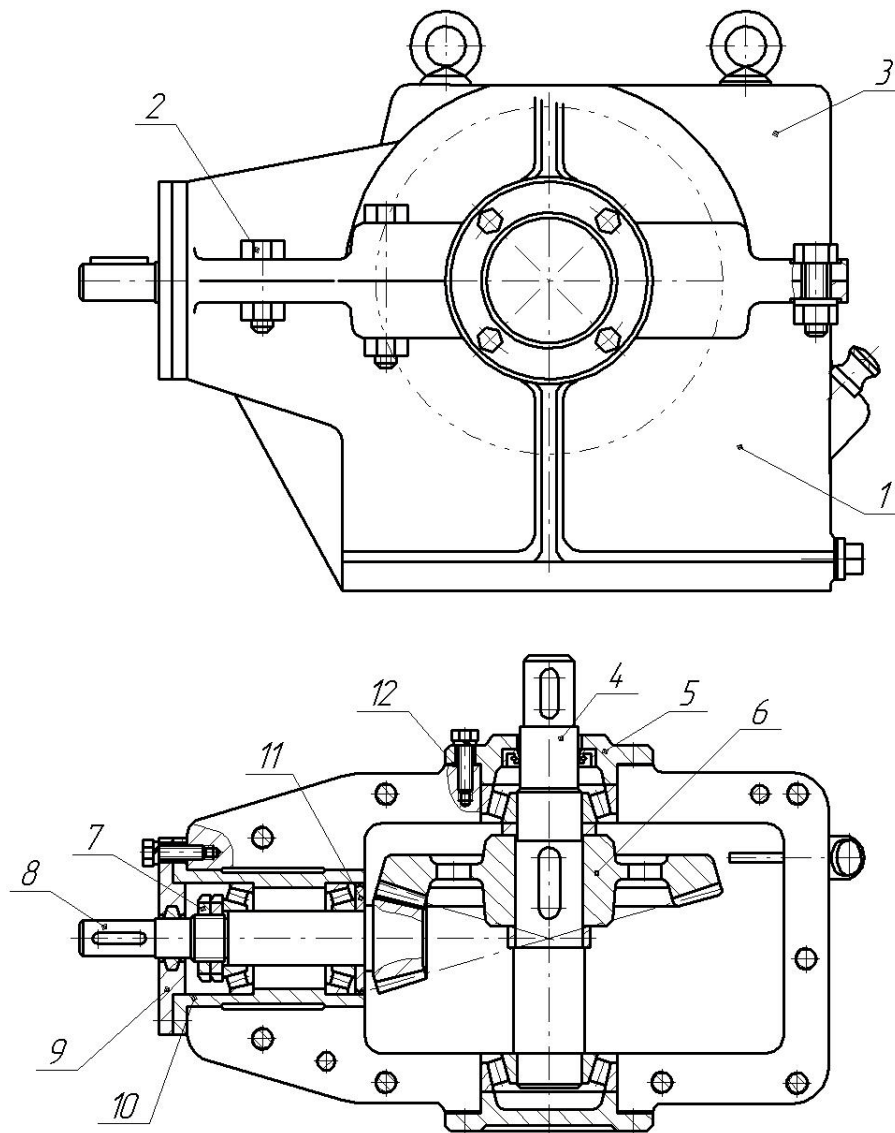


Рис.3.5. Застосування валів у одноступінчастих редукторах

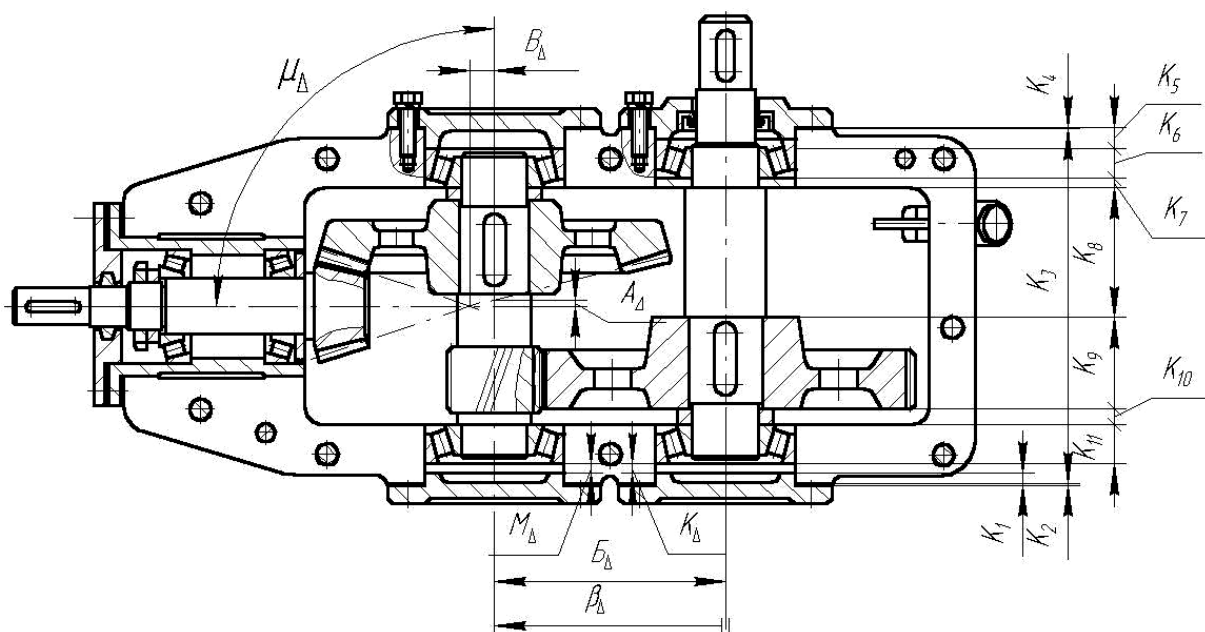


Рис.3.6. Застосування валів у багатоступінчастих редукторах

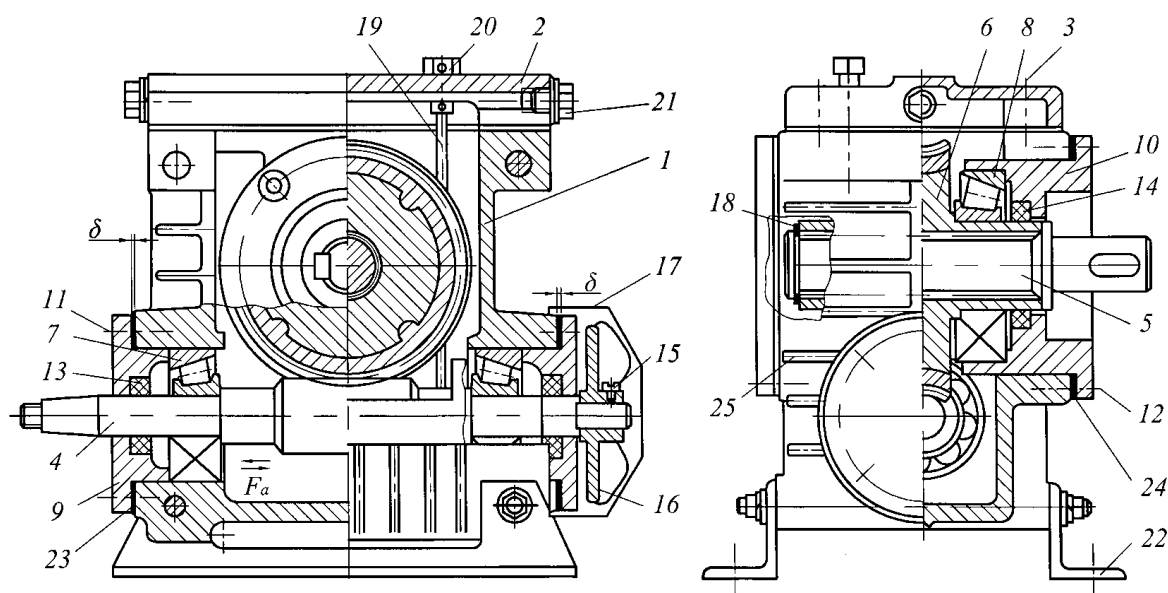


Рис.3.7. Застосування валів у черв'ячних редукторах

В залежності від службового призначення та умов роботи валів встановлюються вимоги до характеристик якості поверхонь, які можуть забезпечувати задані експлуатаційні характеристики якості робочих поверхонь валів. У табл.3.1 наведена певна відповідність характеристик якості робочих поверхонь, які мають переважний вплив на забезпечення основних експлуатаційних характеристик валів. Експлуатаційні характеристики робочих поверхонь валів забезпечуються певними його конструктивними параметрами, обґрунтованим вибором характеристик конструкційного

матеріалу для його виготовлення, технологічним процесом виготовлення та характеристиками якості робочих поверхонь, які можуть формуватися включенням в технологічні процеси механічного оброблення операцій термічного оброблення.

Таблиця 3.1- Узагальнені експлуатаційні характеристики валів та їх зв'язок із характеристиками якості робочих поверхонь

$\sum_{i=1}^n EX_i \Rightarrow$	Експлуатаційні характеристики	$\sum_{i=1}^n XY_i \Rightarrow$	Характеристики якості
	міцність		характеристики матеріалу
	жорсткість		конструктивні особливості валу
	зносостійкість		твердість поверхневого шару робочих поверхонь
	вібростійкість		параметри жорсткості робочих поверхонь
	відсутність в конструкції значних концентраторів напружень		сприйняття термічних операцій

Характеристики жорсткості конструкцій валів традиційно встановлюють за співвідношенням довжини валу до його найменшого діаметру. Якщо таке співвідношення складає $l/d = (5-10)$, то такі конструкції валів вважаються жорсткими, при $l/d = (10-15)$ – середньої жорсткості і при $l/d \geq 15$ – конструкції валів малої жорсткості. Визначення характеристик жорсткості оброблюваних валів необхідно для визначення ефективних умов подальшого оброблення та залучення до операцій оброблення додаткових верстатних пристроїв-люнетів.

У конструкціях порожнистих валів внутрішній отвір діаметром $d_{вн} \leq 0,2 \cdot d_{зн}$ зовнішнього практично не знижує міцність та жорсткість валу. Навіть за умови $d_{вн} \leq 0,6 \cdot d_{зн}$ міцність та жорсткість валу знижується не суттєво, а маса валу знижується майже на 40%. Характеристики жорсткості конструкції валу необхідно приймати до уваги, оскільки вони впливають на виконання технологічних переходів і вимагають застосування спеціальних пристроїв для їх ефективної реалізації.

3.2 Основні конструкційні матеріали та методи виготовлення заготовок валів

Структура технологічного процесу виготовлення валів буде залежати від конструктивних особливостей валу, вимог до характеристик якості його робочих поверхонь, виду та методу виготовлення заготовки, необхідності застосування термічних операцій та техніко-організаційних виробничих умов, для яких виконується технологічне підготування виробництва.

В залежності від службового призначення та умов їх роботи для виготовлення заготовок валів використовуються наступні конструкційні матеріали:

- вуглецеві якісні конструкційні сталі: Сталь 20, 35, 40, 45, фізико-механічні характеристики яких визначає міждержавний стандарт ГОСТ1050-2013 (табл.3.2);
- леговані конструкційні сталі: Сталь 20Х, 40Х, 12ХН3А, 18ХГТ, 38ХНМА, фізико-механічні характеристики яких визначає міждержавний стандарт ГОСТ 4543-2016 (табл. 3.3);
- а окремі конструкції великогабаритних тихохідних валів, колінчастих валів можуть виготовлятися з високоміцних чавунів, які за фізико-механічними характеристиками є близькими до ливарних сталей (ГОСТ 7293-85), а їх легування хромом, кремнієм, алюмінієм, марганцем та нікелем дозволяє отримати необхідні експлуатаційні властивості матеріалу, а саме: жаростійкість, жароміцність, зносостійкість, корозійну стійкість та отримати не магнітність, що забезпечує їх ефективну роботу в специфічних умовах експлуатації (ГОСТ 7769-82).

В табл. 3.2 наведено фізико-механічні характеристики вуглецевих якісних конструкційних гарячекатаних та кованих сортових сталей розміром (діаметр або товщина) до 250мм.

Таблиця 3.2-Механічні властивості вуглецевої якісної сталі (ГОСТ1050-2013)

Марка сталі	Границя текучості, σ_m , Н/мм ² (кгс/мм ²)	Тимчасовий опір розриву, $\sigma_{\text{в}}$, Н/мм ² (кгс/мм ²)	Відносне подовження, δ , %	Відносне звуження, ψ , %
08	196(20)	324(33)	33	60
10	205(21)	333(34)	31	55
15	225(23)	373(38)	27	55
20	245(25)	412(42)	25	55
25	275(28)	451(46)	23	50
30	295(30)	490(50)	21	50
35	315(32)	530(54)	20	45
40	335(34)	570(58)	19	45
45	355(36)	599(61)	16	40
50	375(38)	628(64)	14	40
55	380(39)	648(66)	13	35
58(55пп)	315(32)	599(61)	12	28
60	400(41)	677(69)	12	35

- Зауваження. Масова частка сірки у цих сталях повинна бути не більше 0,040 %, фосфору - не більше 0,035 %.

Для виготовлення заготовок валів, які повинні сприймати значні знакозмінні та ударні навантаження застосовують леговані конструкційні сталі, фізико-механічні властивості яких наведено в табл.3.3.

Таблиця 3.3-Механічні властивості каліброваного прокату з легованих сталей (ГОСТ4543-2016)

Марка сталі	Границя текучості, σ_m , Н/мм ² (кгс/мм ²)	Тимчасовий опір, $\sigma_{\text{в}}$, Н/мм ² (кгс/мм ²)	Відносне подовження, δ , %	Відносне звуження, ψ , %	Ударна в'язкість, a , ДЖС/см ²	Розмір перетину заготовки (d кола), мм
15X	490(50)	609(70)	12	45	69	15
20X	635(65)	788(80)	11	40	59	15
30X	685(70)	880(90)	12	45	69	25
35X	735(75)	910(93)	11	45	69	25
38XA	785(880)	930(95)	12	50	88	25
40X	785(80)	980(100)	10	45	59	25
45X	835(85)	1030(105)	9	45	49	25
50Г	390(40)	650(66)	13	40	39	25
12ХН	440(45)	640(65)	10	-	88	-
20ХН	509(60)	780(80)	14	50	78	15
40ХН	785(80)	980(100)	11	45	69	25
14ХГН	835(85)	1080(110)	8	-	78	-
19ХГН	930(95)	1180-1570 (120-160)	7	9	69	-
20ХГНМ	930(95)	1180-1570 (120-160)	7	-	59	-
30ХМ	735(75)	930(95)	11	45	78	15

В табл. 3.4 наведено фізико-механічні характеристики високоміцних чавунів.

Таблиця 3.4-Механічні властивості високоміцних чавунів (ГОСТ 7293-85)

Чавун	Тимчасовий опір при розтягу σ_s , МПа	Відносне видовження при розриві, δ , %	Твердість по Бринеллю, $HB \cdot 10^{-1}$, МПа
	не менше		
ВЧ35	350	22	140-170
ВЧ40	400	15	140-202
ВЧ45	450	10	140-225
ВЧ50	500	7	153-245
ВЧ60	600	3	192-277
ВЧ70	700	2	228-302
ВЧ80	800	2	248-351
ВЧ100	1000	2	270-360

Високоміцні чавуни мають високі експлуатаційні та технологічні характеристики, що обумовлює розширення їх застосування для виготовлення заготовок деталей машин. З цих матеріалів виготовляють заготовки колінчастих валів, картери двигунів, маточини коліс, станини верстатів, супорти верстатів, корпуси задніх бабок, великогабаритні зубчасті колеса. Аналіз тенденцій застосування високоміцних чавунів в машинобудівному виробництві свідчить про те, що вони значним чином витісняють заготовки з сірих та ковких чавунів, сталей для лиття, сталевих поковок та зварних конструкцій. А з урахуванням його технологічних переваг у порівнянні з литими заготовками зі сталей, ці матеріали мають значні перспективи розширення їх застосування в машинобудівному виробництві.

3.3 Проектування заготовок для валів

Хімічний склад та фізико-механічні властивості конструкційних матеріалів будуть визначати методи виготовлення заготовок та зміст операцій термічного оброблення. Найчастіше заготовки валів виготовляються об'ємним деформуванням. Заготовки валів можуть виготовлятися зі стандартного

гарячекатаного або холоднотягнутого прокату, вільним куванням, штампуванням, ротаційним обтисненням та періодичним прокатуванням. Вибір виду та методу виготовлення заготовок буде залежати від техніко-економічних умов виробництва та, певним чином, від вимог якості структури заготовки. Заготовки валів з чавунів виготовляють литтям.

При виготовленні заготовок валів з гарячекатаного прокату необхідно контролювати жолоблення прутків, які поступають на виробництво, оскільки виникнення жолоблення вимагає збільшення припусків для його компенсації та створює несприятливі умови оброблення на чорнових етапах оброблення, як для верстату так і різальних інструментів, оскільки можуть створюватись умови крихкого руйнування різальної частини інструментів. Технологічні процеси виготовлення гарячекатаних прутків обмежують величину жолоблення, але в процесі транспортування, розвантаження можуть виникати відхилення, які вимагають попередньої правки вихідних заготовок.

При виготовленні заготовок з гарячекатаних прутків величина жолоблення перед початком оброблення повинна знаходитися в межах $\varepsilon_{кр} = (0,17 - 0,25) \cdot 2Z_{отax}$. Допустима величина жолоблення встановлюється, як частка найбільшого припуску на оброблення. За умов перевищення допустимих величин, необхідно застосувати попередню правку заготовок. На машинобудівних підприємствах переважно використовується холодна правка вигином, а при великих відхиленнях можуть додатково використовувати місцеве нагрівання. Найбільш поширеними методами холодної правки є:

- ручна правка;
- правка на пресах;
- правка на спеціальних правильних машинах;
- правка на правильно-відрізних верстатах;
- правка на правильно-калібрувальних верстатах.

Ручна правка має низьку продуктивність і застосовується в умовах одиничного та малосерійного виробництва. Правку виконують на спеціальних правильних плитах з використанням ручних ударів молотками безпосередньо по місцях жолоблення. Точність такої правки складає (2,0-3,0)мм і потребує значних фізичних навантажень робітника.

Для ручної правки заготовок, в яких попередньо виготовлені центрові отвори, застосовують спеціальні струбцини, важелі, домкрати та спеціальні навантажувальні засоби, що забезпечує досягнення достатньо високої точності правки $\varepsilon_{\text{пр}} = (0,1 - 0,3)\text{мм/пог.м.}$

Для правки заготовок діаметром $\varnothing \leq 30$ застосовують ручні гвинтові преси. Правка з застосуванням таких засобів забезпечує більш високу точність $\varepsilon_{\text{пр}} = 0,15\text{мм/пог.м}$ та значно зменшує фізичні навантаження на робітника. Для виконання правки можуть використовуватися пневматичні та гідравлічні преси. Заготовки діаметром $30 < \varnothing \leq 50$ переважно правлять на пневматичних пресах. Діаметром $50 < \varnothing \leq 100$ правлять на механічних пресах і діаметром $100 < \varnothing \leq 150$ на гідравлічних пресах. Точність правки з застосуванням таких пресів не перевищує точність правки на ручних пресах.

Правка на верстатах правильно-відрізних та правильно калібрувальних використовується для прокату, який поставляється в мотках діаметром $\varnothing(0,25-6,0)\text{мм}$. Залишкове жолоблення на правильно-відрізних верстатах складає $\varepsilon_{\text{пр}} = (0,5 - 0,7)\text{мм/пог.м}$, а на правильно-калібрувальних $\varepsilon_{\text{пр}} = (0,5 - 0,9)\text{мм/пог.м}$

Для розрізання прокату на штучні заготовки застосовують:

- розрізання дисковими пилами на фрезерно-відрізних верстатах;
- розрізання на приводних ножівках;
- розрізання стрічковими пилами;
- розрізання пилами тертя;
- розрізання відрізними різцями;
- розрізання абразивними кругами;

- газове (кисневе) вирізання заготовок.

Розрізання дисковими пилами на фрезерно-відрізних верстатах практично не має обмежень за розмірами і застосовується для розрізання прокату $\varnothing \leq 500$ мм. Такий метод розрізання забезпечує високу якість поверхні, точність розмірів та точність просторового розташування торцевої поверхні до осі, є універсальним та достатньо продуктивним. В якості різального інструменту застосовуються дискові фрези $\varnothing(350-2000)$ мм в залежності від розміру прокату, що розрізається та шириною $h=(4,0-14,5)$ мм.

Розрізання на приводних ножівках застосовується в одиничному та малосерійному виробництві для заготовок круглого та профільного прокату в діапазоні розмірів до $\varnothing(250-300)$ мм. Головний недолік такого методу розрізання є недостатня продуктивність, але виконується з малою шириною розрізання $h=(1,0-3,5)$ мм та мала величина перекосу торцевої поверхні відносно осі і складає $\varepsilon_{\text{пер}} = (2,0 - 2,5)$ мм/100 мм діаметру та параметри шорсткості поверхні $R_a = (20-40)$ мкм. Для підвищення продуктивності розрізання застосовують закріплення в лещатах пакету оброблюваних прутків.

Розрізання стрічковими пилами застосовують для розрізання заготовок з вуглецевих сталей, кольорових сплавів та пластмас діаметром $\varnothing \leq 250$ мм. Стрічкове розрізання забезпечує достатню продуктивність, здійснюється з малою шириною розрізання $h=(0,8-1,5)$ мм та високу якість поверхні розрізання $R_a = (15-30)$ мкм. Недоліком такого методу розрізання є низька стійкість стрічкової пили та висока її вартість.

Розрізання пилами тертя здійснюється за допомогою спеціальних дисків або стрічки, яка рухається відносно поверхні розрізання з лінійною швидкістю $V = (100 - 120)$ м/с і за рахунок теплоти, яка утворюється в зоні тертя, розплавляє шар матеріалу в зоні контакту. Цей метод розрізання практично не має обмежень за характеристиками матеріалу, має високу продуктивність, але якість прилеглої поверхні погіршується утворенням напливів, які потребують подальшого оброблення та створення технологічних умов загартування

прилеглої поверхні, що є проблемою подальшого лезового оброблення таких поверхонь. Такі недоліки розрізання заготовок обумовлюють значні обмеження на його практичне застосування.

Розрізання відрізними різцями є найбільш універсальним та поширеним видом підготовки заготовок, оскільки забезпечується висока точність лінійних розмірів, якість обробленої поверхні і не потребує спеціальних верстатів. До недоліків такого методу розрізання є достатньо велику ширину розрізання, низьку стійкість різальних інструментів, що обумовлює зростання вартості розрізання. При застосуванні такого методу розрізання в умовах великосерійного виробництва використовують спеціалізовані токарно-відрізні верстати.

Розрізання абразивними кругами доцільно розглядати, як спеціалізований вид виготовлення заготовок з матеріалів підвищеної твердості та термічно оброблених матеріалів діаметром $\varnothing \leq 50\text{мм}$. Такий метод розрізання має високу продуктивність, формує поверхню з малими параметрами шорсткості поверхні та точними лінійними розмірами. Для абразивного розрізання використовують абразивні круги діаметрами $\varnothing(80-500)\text{мм}$, висотою кругу $h=(0,5-4,0)\text{мм}$ на вулканітовій або бакелітовій зв'язці. Для розрізання заготовок з твердих сплавів та кераміки використовують алмазні круги діаметрами $\varnothing(50-320)\text{мм}$ та товщиною $h=(0,15-2,0)\text{мм}$.

Газове (кисневе) вирізання використовується для підготовки заготовок складної форми з стандартного листового прокату, плит та інших профільних універсальних заготовок.

В технологічних процесах до механічного оброблення для всіх заготовок валів, які виготовляються пластичним деформуванням та нагріванням, доцільно передбачати операцію правки, а для особливо відповідальних конструкцій валів додатково може передбачатись операція термічного оброблення.

3.4 Основні технічні характеристики робочих поверхонь валів

Конструктивні особливості валів та вимоги до характеристик якості робочих поверхонь визначаються їх службовим призначенням та умовами роботи. Разом з тим, можна сформувати узагальнені вимоги до характеристик якості робочих поверхонь валів, які дають змогу сформувати бібліотеку типових послідовностей оброблення обробних поверхонь, які повинні служити початковими модулями проектування змісту технологічних операцій. Основні характеристики якості робочих поверхонь валів знаходяться в наступних діапазонах:

- точність розмірів основних конструкторських баз (ОКБ), якими є поверхні для встановлення підшипників, повинна складати IT6-IT8, параметри шорсткості поверхні $R_a=(0,32-1,25)$, допуск форми поверхонь в поперечному перерізі встановлюється в діапазоні $\Delta_\phi \leq (0,5...0,2)Td$;
- точність розмірів допоміжних конструкторських баз (ДКБ), якими є поверхні для встановлення зубчастих коліс, шківів та інших деталей, що встановлюються на поверхнях валу, повинна складати IT7-IT9, параметри шорсткості поверхні $R_a=0,63-1,25$, допуск форми поверхонь в поперечному перерізі встановлюється в діапазоні $\Delta_\phi \leq (0,5...0,2)Td$;
- допуск радіального биття поверхонь, які є допоміжними технологічними базами і призначені для розміщення зубчастих коліс, шківів відносно поверхонь основних конструкторських баз не повинен перевищувати $\Delta \leq (0,25...0,5)Td$;
- допуск співвісності поверхонь основних конструкторських баз, якими є поверхні на яких розміщуються підшипники, не перевищує $(0,01...0,02)\text{мм}$;
- допуск торцевого биття поверхонь, на яких розміщуються зубчасті колеса, відносно поверхонь основних конструкторських баз не повинен перевищувати $(0,01...0,03)\text{мм}$;

- допуск симетричності бокових сторін шліцьових поверхонь, шпонкових пазів відносно загальної осі поверхонь основних конструкторських баз складає (0,03...0,05)мм.

В певних конструкціях валів, з урахуванням їх службового призначення, можуть встановлюватись додаткові вимоги до характеристик якості робочих поверхонь, наприклад, вимоги до співвісності різьбових поверхонь відносно поверхонь основних конструкторських баз, допуск перпендикулярності прилеглих торцевих поверхонь до осі поверхонь ОКБ, вимоги до твердості зубчастих поверхонь після термічного оброблення та інші. При виготовленні деталей, які призначені для використання в літальних апаратах, можуть встановлюватись вимоги до величини, знаку та глибини залягання залишкових напружень в поверхневому шарі робочих поверхонь.

Вимоги до характеристик якості робочих поверхонь валів будуть визначати загальну структуру технологічного процесу оброблення. За алгоритмом проектування технологічних процесів оброблення валів необхідно обґрунтувати вибір технологічних баз.

3.5 *Визначення технологічних баз для процесу оброблення валів*

Обґрунтування вибору технологічних баз для оброблення валів необхідно здійснювати у відповідності до узагальненого алгоритму, який передбачає реалізацію двох послідовних етапів;

- визначення загальних технологічних баз;
- визначення технологічних баз для перших операцій.

3.5.1 *Визначення загальних технологічних баз*

Загальними технологічними базами (ЗТБ) будемо називати комплект технологічних баз – оброблених поверхонь, які використовуються для

виконання всіх, або певної частини, операцій технологічного процесу оброблення заготовки

У відповідності до алгоритму обґрунтування вибору загальних технологічних баз необхідно виконати класифікацію поверхонь валу за службовим призначенням. Для виконання класифікації поверхонь використовується робочий кресленик валу. Конструкцію будь-якої деталі можна представити сукупністю чотирьох видів поверхонь, а саме:

- основних конструкторських баз;
- допоміжних конструкторських баз;
- кріпильних поверхонь;
- вільних поверхонь.

Основними конструкторськими базами деталей машин є поверхні, які визначають положення даної деталі в складальній одиниці або вузлу.

Для однозначного визначення основних конструкторських баз (ОКБ) будь-якої деталі доцільно аналізувати складальні кресленики вузлів, куди входить дана деталь. Характерним для конструкцій валів є те, що в процесі роботи вони здійснюють обертальні рухи, які забезпечуються установкою валів на підшипники. Приклади компоновки валів в складальних одиницях наведено на рис.3.8 та рис.3.9.

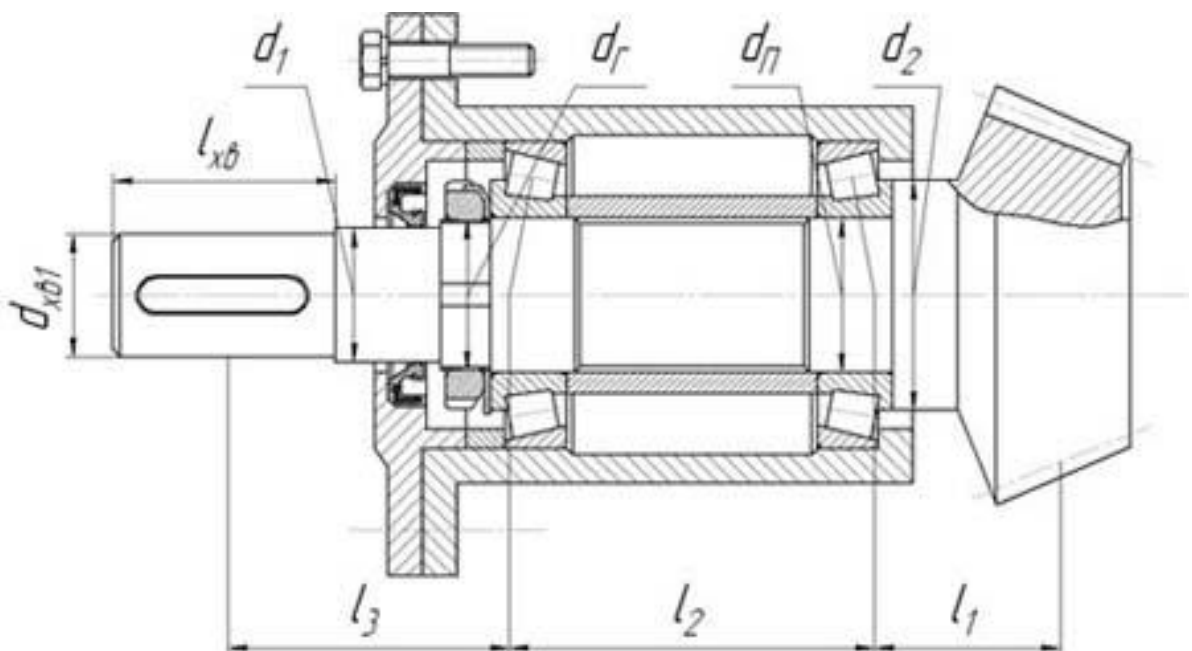


Рис.3.8. Приклад компоновки вала в складальній одиниці

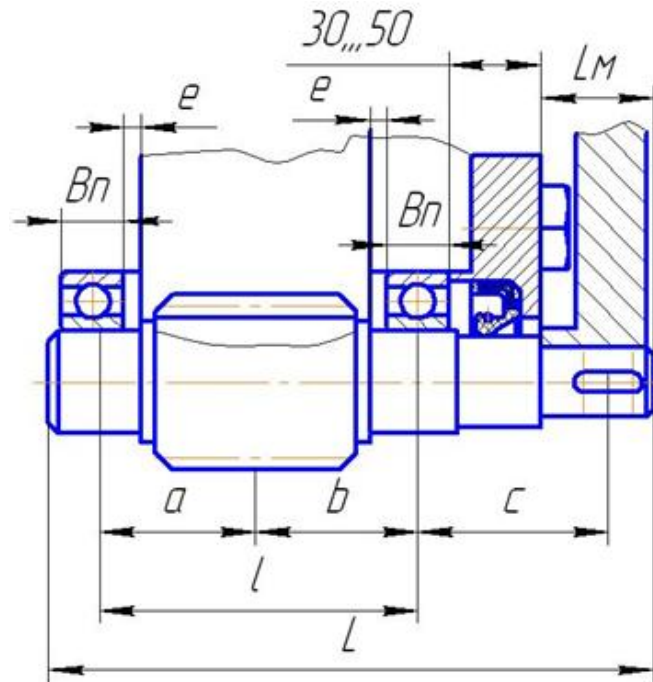


Рис.3.9. Приклад компоновки вала в складальній одиниці

З аналізу типових компоновок валів визначаємо, що основними конструкторськими базами валів є поверхні для встановлення підшипників та одна з прилеглих до них торцева поверхня. Базову торцеву поверхню необхідно визначити за аналізом складального кресленика вузла з урахуванням вимог до службового призначення та схеми установки вала.

Поверхнями допоміжних конструкторських баз (ДКБ) валів є поверхні для встановлення зубчастих коліс, шківів, з'єднувальних муфт та інших приєднаних до вала деталей. Характерною особливістю технологічних процесів оброблення валів є необхідність оброблення всіх його поверхонь для забезпечення характеристик якості, які встановлені робочим креслеником.

Кріпильними поверхнями валів є поверхні з нарізами, які забезпечують фіксацію положення деталей, що приєднуються.

Вільними поверхнями валів є обробні поверхні, які не спряжені з іншими поверхнями, але забезпечують формування конструкції вала, як єдиного геометричного тіла. Для формування практичних вмінь та здатностей проектування технологічних процесів всі поверхні вала доцільно нумерувати порядковими номерами з урахуванням їх належності до певної

класифікаційної групи, а саме: поверхні ОКБ-О1; О2 та О3; поверхні ДКБ-Д1, Д2,...ДN; кріпильні поверхні К-К1, К2, ...KN та вільні поверхні В- В1, В2,...ВN. Приклад класифікації поверхонь валу за службовим призначенням наведено на рис.3.10.

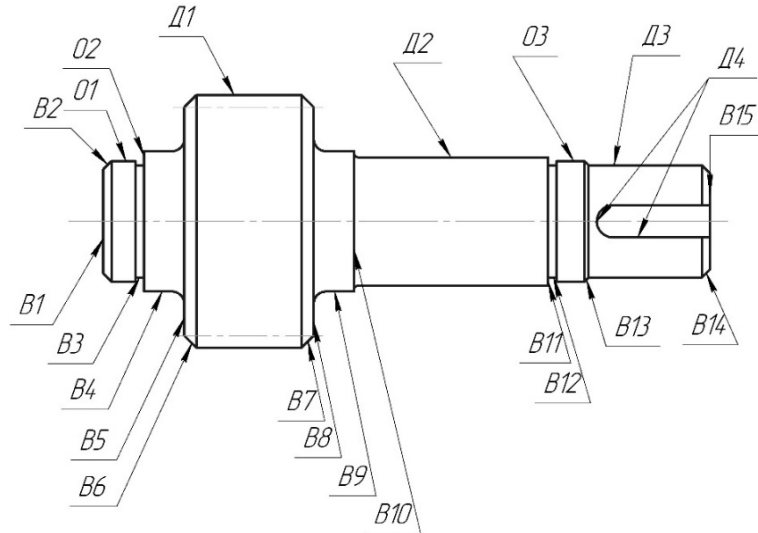


Рис.3.10. Класифікація поверхонь деталі «Вал-шестерня» за службовим призначенням

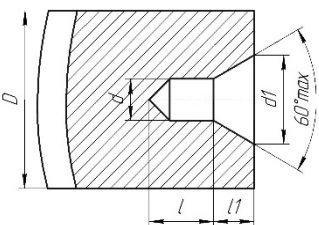
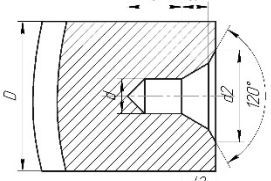
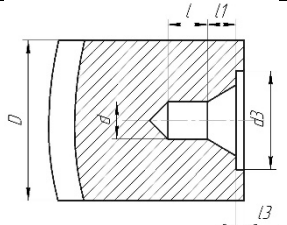
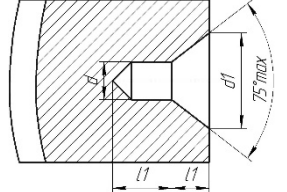
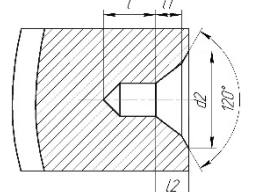
Після виконання класифікації поверхонь валу за службовим призначенням необхідно перевірити можливість використання поверхонь ОКБ в якості загальних технологічних баз (ЗТБ) $ОКБ \Rightarrow ЗТБ$ в технологічному процесі. Суміщення конструкторських баз з технологічними базами буде забезпечувати найменшу похибку просторового розташування робочих поверхонь валу.

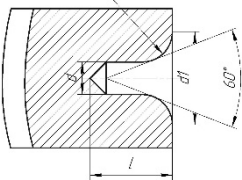
Практичний досвід машинобудівного виробництва свідчить про неможливість використання поверхонь ОКБ в якості загальних технологічних баз при виконанні більшості технологічних операцій оброблення поверхонь валів ($ОКБ \Rightarrow ЗТБ \Rightarrow \text{неможливо}$). За такої умови необхідно створити допоміжну технологічну базу (ДТБ), якою може бути певна сукупність поверхонь, які існують в конструкції деталі, або утворити новий комплект базових поверхонь, який практично не змінює експлуатаційні характеристики деталі і може виконувати завдання загальних технологічних баз ($ДТБ \Rightarrow ЗТБ$).

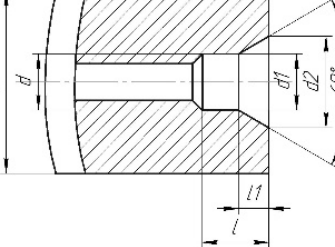
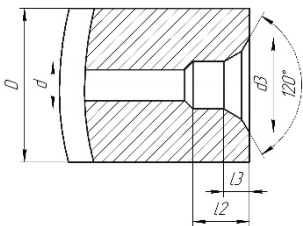
Для технологічних операцій оброблення валів використовують конічні поверхні центрових отворів, які можуть бути використані для базування при

обробленні практично всіх можливих поверхонь, що можуть мати конструкції валів. Розмірні параметри центрових отворів та їх форми стандартизовані ГОСТ 14034-74, а їх розміри для конкретної деталі визначаються діаметральним розміром поверхні валу, в якій вони виготовляються. Геометрична форма отвору буде визначатись умовами експлуатації та службовим призначенням валу. Найбільш поширені конструкції центрових отворів та рекомендовані області їх ефективного застосування наведено в табл.3.5.

Таблиця 3.5-Ескізи центрових отворів та області їх застосування ГОСТ14034-74

Ескіз центрального отвору	Форма	Область застосування
	А	Застосовується у виробах, після оброблення яких необхідність в центрових отворах відпадає. Застосовується у виробах, при виготовленні яких передбачається термічне оброблення, яке гарантує збереження центрових отворів в процесі експлуатації виробу
	В	Застосовується у виробах, в яких центрові отвори є технологічною базою для багаторазового використання, а також в випадках, коли центрові отвори зберігаються в готовому виробі
	Т	Застосовується для оправок та калібрів-пробок
	С	Застосовується для валів великих розмірів та маси (призначення аналогічне формі А)
	Е	Застосовується для валів великих розмірів та маси (призначення аналогічне формі В)

	R	Застосовується для оброблення виробів високої точності
---	---	--

Продовження табл.3.5		
	F	Застосовується у валах при необхідності їх закріплення по центру вниз для монтажних робіт, транспортування, зберігання та термічного оброблення у вертикальному положенні
	H	

Центрові отвори форми А, В, Т, С, Е, R формуються в крайніх торцевих поверхнях валу за один робочий хід центрувальними свердлами відповідної форми. Приклади конструкцій центрувальних свердел наведено на рис.3.11.

Найчастіше центрові отвори залишаються в конструкції валу після його виготовлення, що можна в подальшому використовувати для ремонту та відновлення робочих поверхонь складних високовартісних валів. Необхідно приймати до уваги, що в певних конструкціях валів конструктор може забороняти залишати центрові отвори після завершення технологічного процесу виготовлення. За таких умов після завершення виготовлення валу в технологічному процесі передбачається операція їх видалення, а для їх формування на початку технологічного процесу загальну довжину заготовки необхідно збільшити на дві довжини центрових отворів.

Після визначення поверхонь деталі, які можуть використовуватись для базування по загальних технологічних базах, необхідно спроектувати теоретичну схему базування, виконати її аналіз з точки зору забезпечення якості оброблення передбачених поверхонь та проаналізувати можливі її

конструктивні реалізації. Для цього необхідно користуватись стандартними позначеннями схеми базування, які встановлює стандарт ГОСТ 21495-76.

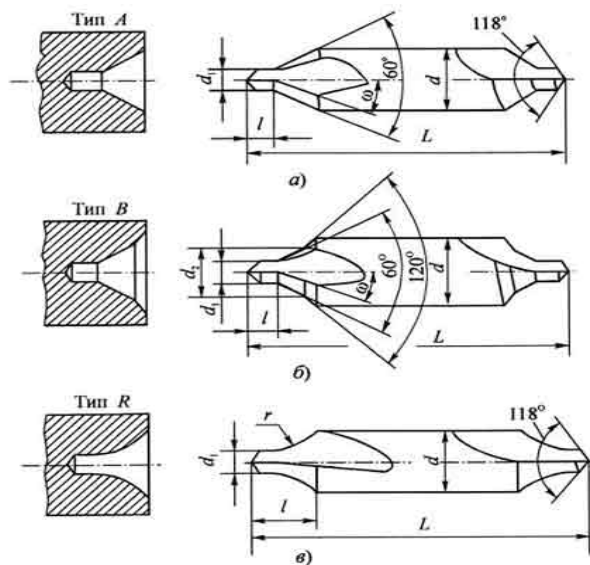


Рис.3.11. Приклади конструкцій центрувальних свердел для оброблення центрових отворів

Схема базування передбачає певне розміщення опорних точок на поверхнях заготовки, які визначають комплект технологічних баз. Опорна точка є реальною точкою, яка символізує один із зав'язків заготовки з вибраною системою координат верстатного пристрою. Комплект баз представляє сукупність трьох баз, які створюють систему координат заготовки в процесі її виготовлення. При проектуванні схеми базування необхідно приймати до уваги наступні рекомендації:

- всі опорні точки на схемі базування необхідно представляти умовними позначеннями (рис.3.12) та нумерувати порядковими номерами, починаючи з базової поверхні, на якій розміщується найбільша кількість опорних точок (установочної $У(3) \Rightarrow 1,2,3$; або подвійної напрямної бази $ПН(4) \Rightarrow 1,2,3,4$);
- при накладанні в якій-небудь проекції однієї опорної точки на іншу, необхідно проставляти умовний знак однієї бази, але біля неї проставляти через кому номери опорних точок, які співпадають;

- кількість проєкцій заготовки на схемі базування повинна бути достатньою для чіткого представлення розміщення опорних точок, що особливо важливо для складних конструкцій корпусних деталей, важелів, оскільки їх просторове розміщення є вихідною основою для подальшого проєктування верстатних пристроїв.

У відповідності до стандарту ГОСТ 21495-76 для позначення схеми базування необхідно використовувати стандартні зображення опорних точок (рис.3.12).

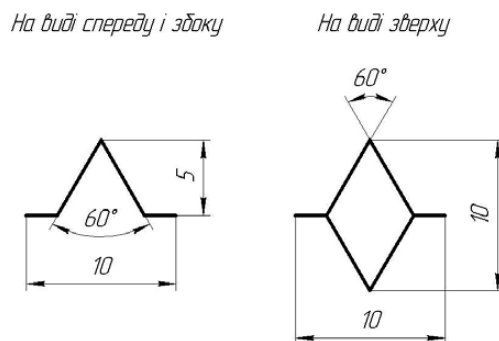


Рис. 3.12. Умовні позначення опорних точок на схемах базування

При проєктуванні теоретичних схем базування, найчастіше, достатньо наводити головний вид та вид зверху, але при значній складності конструкції деталі, наприклад корпусних деталей, доцільно наводити додаткові види. Теоретичну схему базування валу із застосуванням загальних технологічних баз (центрових отворів) наведено на рис.3.13.

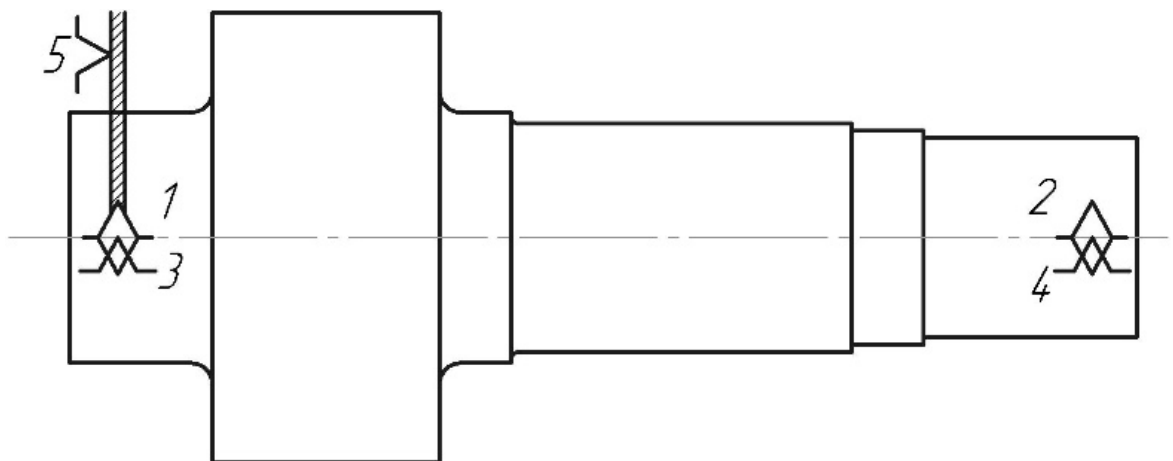


Рис.3.13. Схема базування валу по загальній технологічній базі

Всі схеми базування доцільно представляти у вигляді структурної формули, яка включає умовні позначення базових поверхонь. Для цього використовується загальна класифікація базових поверхонь за ступенями вільності (ГОСТ 21495-76), яких вони полишають заготовку та відповідні умовні позначення, а саме:

- $У(3)$ - установочна база, яка полишає заготовку трьох ступенів вільності;
- $Н(2)$ - напрямна база, яка полишає заготовку двох ступенів вільності;
- $О(1)$ - опорна база, яка полишає заготовку одного ступеня вільності;
- $ПН(4)$ - подвійна напрямна база, яка полишає заготовку чотирьох ступенів вільності;
- $ПО(2)$ - подвійна опорна база, яка полишає заготовку двох ступенів вільності.

Структурна формула теоретичної схеми базування валу по загальній технологічній базі (див. рис.3.13) може бути записана в вигляді:

$$СБ_{зтб} \Rightarrow ПН(4) + О(1) \quad (3.1)$$

Всі теоретичні схеми базування мають певну конструктивну реалізацію у верстатних пристроях і тому структурна формула схеми базування є певним елементом контролю відповідності теоретичної схеми базування її конструктивній реалізації.

Схема базування (рис.3.13) конструктивно реалізується за допомогою двох центрів-переднього «жорсткого» центру, який встановлюється в шпинделі верстата та заднього обертового центру, який встановлюється в задній бабці верстата. Оброблення всіх поверхонь обертання валу за такої схеми базування буде забезпечувати їх співвісність (похибка базування $\varepsilon_6 = 0$), що важливо для забезпечення просторового розташування поверхонь валу, але при обробленні торцевих поверхонь така схема базування обумовлює похибку базування для лінійних розмірів вала (похибка базування $\varepsilon_6 \neq 0$), яка буде визначатись точністю виготовлення центрових отворів, а саме допуском на глибину центрових отворів та допуском на кут конічної поверхні, що і

показано на схемі базування (див.рис.3.13). Похибка установки заготовки за такої схеми базування визначається за формулою:

$$\varepsilon_{\text{ц}} = T_d / 2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (3.2)$$

де T_d -допуск на діаметр центрового отвору, мм; α - половина кута конічної поверхні центрового отвору (для стандартних центрів -30°).

Якщо за такої схеми базування точність лінійних розмірів валу забезпечується, то її доцільно використовувати в технологічному процесі.

Якщо за такої схеми базування точність лінійних розмірів валу не забезпечується, то доцільно використати іншу схему базування по загальних технологічних базах (рис.3.14).

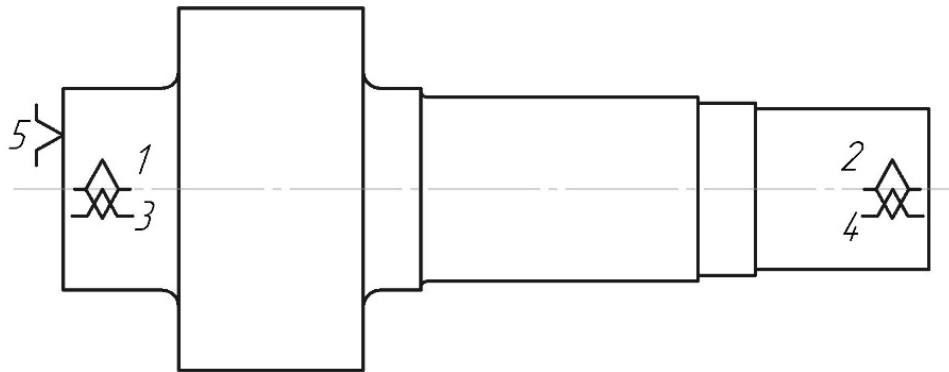


Рис.3.14. Схема базування валу по загальній технологічній базі

Структурна формула теоретичної схеми базування валу по загальній технологічній базі (рис.3.14) буде аналогічною і записується у вигляді:

$$СБ_{ЗТБ} \Rightarrow ПН(4) + О(1) \quad (3.3)$$

Необхідно звернути увагу, що структурні формули двох розглянутих схем базування по загальній технологічній базі є однаковими, але конструктивна їх реалізації буде відмінною. Схема базування (див. рис.3.14) реалізується за допомогою двох центрів, при цьому застосовується передній центр спеціальної, більш складної конструкції, а саме - рухомий в осьовому напрямку(плаваючий центр), що забезпечить усунення похибки базування для лінійних розмірів вала, яка дорівнюватиме нулю. Конструкція заднього центру буде аналогічною попередній схемі базування.

При проектуванні технологічних процесів механічного оброблення, в залежності від вимог до точності забезпечення лінійних розмірів поверхонь вала, може бути застосована одна з розглянутих схем базування.

Після обґрунтування вибору загальних технологічних баз необхідно проаналізувати можливість їх незмінного застосування на всіх операціях технологічного процесу, тобто дотримання принципу сталості (незмінності) технологічних баз, що перевіряється розмірним моделюванням технологічних операцій.

Незмінність загальної технологічної бази для всього технологічного процесу забезпечує незмінність конструкцій верстатних пристроїв для виконання всіх технологічних операцій. Якщо забезпечити незмінність загальних технологічних баз для всього технологічного процесу неможливо, то необхідно вибрати та обґрунтувати додатковий комплект загальних технологічних баз.

Такі умови, коли не можна реалізувати весь технологічний процес з незмінною схемою базування по загальній технологічній базі, характерні для технологічних процесів оброблення деталей типу валів з осьовими отворами, втулок, зубчастих коліс та важелів. Найчастіше, додатковий комплект загальних технологічних баз складають поверхні допоміжних конструкторських баз деталі, оскільки найбільш високі вимоги до точності просторового розташування поверхонь такого класу деталей встановлюються для поверхонь основних та допоміжних конструкторських баз.

Тобто в технологічному процесі оброблення таких конструкцій деталей будуть використані два комплекти загальних технологічних баз, а саме: поверхонь $ОКБ \Rightarrow ЗТБ$ та поверхонь $ДКБ \Rightarrow ЗТБ$. У цьому випадку для технологічного процесу оброблення втулок за певних конструктивних особливостей необхідно проектувати відмінні пристрої, що збільшує витрати на технологічне підготування виробництва. Разом з тим, необхідно вказати, що в технологічних процесах оброблення переважної більшості конструкцій корпусних деталей, поверхні загальних технологічних баз залишаються

незмінними на всіх технологічних операціях, що визначає незмінність конструкції пристрою.

Необхідно приймати до уваги, що ми розглядаємо теоретичні схеми базування валів та їх конструктивну реалізацію без урахування додаткових елементів пристрою, які будуть здійснювати передачу крутного моменту від шпинделя верстату до заготовки, для чого використовуються повідкові патрони спеціальних конструкцій.

В окремих конструкціях валів конструктор не дозволяє залишати після оброблення центрові отвори. За таких умов при виготовленні заготовки валу передбачається збільшення її довжини на величину, яка достатня для розміщення центрових отворів, а в структурі технологічного процесу виготовлення валу в завершальній його частині передбачається операція видалення частини валу з центровими отворами.

3.5.2 *Визначення технологічних баз для перших операцій*

Вихідним документом для визначення технологічних баз для перших операцій є кресленик заготовки. Визначення технологічних баз для перших операцій необхідно виконувати у відповідності до узагальненого алгоритму визначення технологічних баз для деталей будь-яких класів, який встановлює таку послідовність прийняття рішень:

- *в якості технологічних баз необхідно приймати необробні поверхні заготовки.* Такий вибір базових поверхонь буде забезпечувати після оброблення правильне просторове розташування необробних поверхонь заготовки відносно обробних;
- *якщо всі поверхні заготовки за креслеником деталі є обробними, то в якості технологічних баз необхідно приймати поверхні, які мають найменший припуск.* Такий вибір базових поверхонь буде забезпечувати усунення можливості виникнення браку при подальшому обробленні таких поверхонь;

- якщо відсутні поверхні з мінімальним припуском, а його величина є достатньо рівномірною, то в якості технологічних баз необхідно приймати поверхні заготовки, на яких виникнення браку не допускається;
- в якості технологічних баз необхідно приймати поверхні заготовки, для яких необхідно забезпечити рівномірний припуск для наступних етапів оброблення;
- якщо є декілька можливих конкурентних схем базування, то необхідно приймати варіант базування в якому обробна поверхня зв'язана з базовою поверхнею найкоротшими розмірними ланцюгами.

Оскільки всі поверхні валів є обробними, то за технологічні бази для перших операцій необхідно прийняти найбільш відповідальні поверхні заготовки на яких не допускається виникнення браку. Якщо заготовку ступінчастого валу виготовляють штампуванням і вона має наближену форму до готової деталі, то за технологічну базу необхідно прийняти поверхні заготовки, на яких в подальшому будуть утворені поверхні основних конструкторських баз. Така схема базування виключає можливість виникнення браку на таких поверхнях, оскільки обробні поверхні будуть зв'язані з базовими поверхнями найкоротшим розмірними ланцюгами, крім того вона може забезпечити рівномірний припуск для наступних етапів їх оброблення, що є передумовою зменшення похибок форми таких поверхонь.

Якщо заготовку вала виготовляють відрізанням від прокату, то за технологічну базу можна приймати будь-які ділянки поверхні заготовки.

Приклад теоретичної схеми базування заготовки, яка виготовлена штампуванням наведено на рис.3.15.

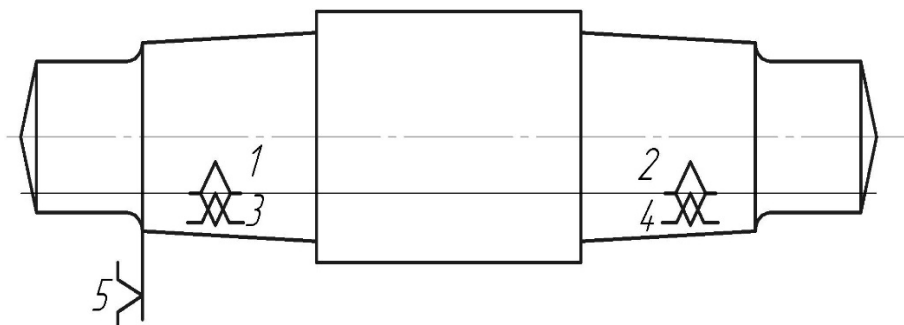


Рис.3.15. Теоретична схема базування заготовки валу для першої операції

Структурна формула схеми базування по технологічній базі має вид:

$$CB_{TB} \Rightarrow PH(4) + O(1) \quad (3.4)$$

Конструктивна реалізації такої схеми базування передбачає установку заготовки вала в призмах. Одна призма рухома, а друга нерухома. Для забезпечення однозначності базування нерухома призма конструктивно реалізується двома короткими призмами. Конструкція пристрою є простою, але характеризується похибкою розміщення осі вала у вертикальній площині, що обумовлює нерівномірний припуск на поверхнях для наступних етапів оброблення. Стандартні конструкції призм виготовляють з кутами $\alpha = (60; 90; 120 \text{ та } 180)^\circ$.

Похибка базування в нерухомій призмі горизонтальної осі заготовки визначається за формулою:

$$\varepsilon_6 = T_d / 2 \cdot \sin \alpha / 2 \quad (3.5)$$

де T_d -допуск на розмір базової поверхні, мм; α -кут призми.

Для підвищення точності розміщення допоміжної технологічної бази доцільно використовувати схему базування, яку наведено на рис.3.16.

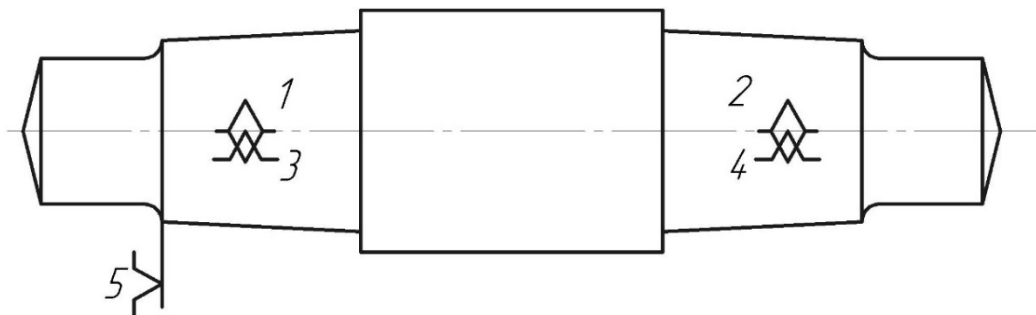


Рис.3.16. Теоретична схема базування заготовки вала для першої операції

Структурна формула схеми базування має вид:

$$CB_{TB} \Rightarrow PH(4) + O(1) \quad (3.6)$$

Конструктивна реалізації такої схеми базування передбачає установку заготовки вала в самоцентрувальних призмах, або інших самоцентрувальних пристроях, які незалежно від допусків розмірів на базові поверхні забезпечують правильне розміщення їх осей, що обумовлює похибку

базування, яка дорівнює нулю, але потребує значного ускладнення конструкції верстатного пристрою. Вибір схеми базування для перших технологічних операцій буде визначатись наявним верстатним обладнанням для першої операції. Схема базування (рис.3.15.) реалізується на фрезерно-центрувальних верстатах, а схема базування (рис.3.16.) на токарних верстатах.

3.6 Загальні закономірності проектування технологічних операцій оброблення валів

Проектування технологічних процесів виготовлення деталей машин базується на використанні наявних типових або групових технологічних процесів, які забезпечують скорочення тривалості проектування одиничних операційних технологічних процесів, які необхідно проектувати для верстатів з ЧПУ. За результатами аналізу типових конструкцій валів можна представити узагальнену конструкцію вала, яка буде включати:

- точні циліндричні поверхні основних конструкторських баз, на яких будуть розміщуватись підшипникові опори;
- шліцьові поверхні допоміжних конструкторських баз для розміщення рухомого зубчастого блоку;
- зубчасту поверхню допоміжної конструкторської бази заданого ступеню точності, для створення зубчастого зачеплення;
- циліндричну поверхню допоміжних конструкторських баз з шпонковим пазом для розміщення нерухомого зубчастого колеса;
- циліндричний отвір, вісь якого перпендикулярна до поздовжньої осі валу;
- площину, яка розміщена під заданим кутом відносно певних конструктивних елементів валу, наприклад циліндричного отвору;
- конічної поверхні допоміжної конструкторської бази з шпонковим пазом для розміщення шківу або з'єднувальної муфти;

- кріпильної поверхні з нарізами, вісь якої співпадає з поздовжньою віссю валу.

Для узагальненої (уніфікованої) конструкції валу, в якій передбачається наявність всіх розглянутих можливих поверхонь, необхідно спроектувати узагальнений технологічний процес (УТП), на основі якого будуть розроблятися одиничні технологічні процеси для конкретних конструкцій валів. Одиничні ТП будуть розроблятися з урахуванням того, що в конструкції реального вала відсутні окремі поверхні, наслідком чого будуть зміни в структурі УТП, пов'язані з виключенням тих технологічних операцій, або переходів, які передбачають оброблення відсутніх в даній конструкції поверхонь.

Традиційно технологічний процес оброблення валу повинен передбачати послідовну реалізацію чотирьох етапів оброблення, а саме:

- попереднього чорнового оброблення;
- попереднього напівчистового оброблення;
- завершального чистового оброблення;
- при необхідності забезпечення підвищеної точності оброблення окремих поверхонь, доцільно передбачати етап завершального вікінчувального (опоряджувального) оброблення.

Кожний етап оброблення повинен забезпечити виконання певних технологічних завдань, які за умови реалізації технологічного процесу повинні забезпечити встановлені робочим креслеником характеристики якості робочих поверхонь валу.

Найбільш складні умови оброблення різанням та найбільшу кількість оброблюваних поверхонь характеризують етап чорнового оброблення. На цьому етапі вирішуються такі технологічні завдання:

- виконується оброблення комплекту поверхонь-загальних технологічних баз;

- здійснюється перевірка придатності заготовки до наступних етапів оброблення за наявності браку на відповідальних робочих поверхнях;
- видаляються максимально можливі припуски на всіх оброблюваних поверхнях, що забезпечить максимальну інтенсивність вирівнювання залишкових напружень в конструкції валу та найбільшу тривалість етапу природного старіння до завершального оброблення найбільш відповідальних поверхонь;
- створюються рівномірні припуски на оброблюваних поверхнях для наступних етапів оброблення;
- забезпечується уточнення просторового положення найбільш відповідальних поверхонь відносно загальної технологічної бази;
- забезпечується підвищення точності розмірів та зменшення параметрів шорсткості оброблених поверхонь.

У відповідності до загальних рекомендацій проектування технологічних процесів виготовлення деталей машин, етап чорнового оброблення необхідно відокремлювати від наступних етапів оброблення, що забезпечує найвищу якість оброблення. При застосуванні сучасних верстатів з ЧПУ їх технологічні можливості можуть забезпечити виконання всіх етапів оброблення валу за одну технологічну операцію, але за таких умов після завершення оброблення, з певним проміжком часу, конструкція валу може втрачати початкові характеристики якості за рахунок вирівнювання залишкових напружень в конструкції деталі, що супроводжується жолобленням конструкції валу, особливо при виготовленні ступінчастих валів зі значними перепадами діаметрів.

Необхідно приймати до уваги, що, для переважної більшості конструкцій валів, їх заготовки виготовляються методами пластичного деформування, які супроводжуються утворенням значних залишкових напружень. Застосування термічних операцій до механічного оброблення буде забезпечувати їх вирівнювання в об'ємі заготовки та зменшення їх величини, але не може виключити їх подальший перерозподіл особливо при нерівномірному

видаленні припусків з поверхонь валу на етапі чорнового оброблення. Це і обумовлює необхідність відокремлення етапу чорнового оброблення від наступних етапів шляхом уведення в ТП, після виконання чорнового оброблення, операцій штучного старіння – низькотемпературний відпал, нормалізація та інших, метою яких є зменшення залишкових напружень.

Виконання такої вимоги буде забезпечувати підвищення характеристик якості оброблення, але за певних конкретних конструктивних особливостей валів, наприклад, гладкий вал невисокої точності робочих поверхонь та не відповідальних умов їх роботи, можливе оброблення валу за одну технологічну операцію.

Проектування технологічних операцій оброблення різанням передбачає вирішення типових технологічних завдань:

- визначення схеми базування заготовки для виконуваної операції;
- проектування послідовності оброблення поверхонь за прийнятої схеми базування та послідовності виконання технологічних переходів;
- представлення технологічного ескізу оброблення, який повинен містити позначені (виділені потовщеними лініями) обробні поверхні, технологічні розміри, які необхідно забезпечити, координати оброблюваних отворів та переміщення інструменту, які для цього необхідні;
- визначення припусків для кожного технологічного переходу;
- визначення інструментальних матеріалів, які можуть забезпечити ефективне оброблення заданого конструкційного матеріалу, конструкції різального інструменту та геометричних параметрів його різальної частини;
- визначення режимів різання, які забезпечують найвищу продуктивність оброблення з урахуванням обов'язкового забезпечення заданих характеристик якості обробленої поверхні.

3.7 Проектування технологічного процесу виготовлення деталі «Вал-шестерня»

Практичну реалізацію узагальненого алгоритму проектування технологічних процесів виготовлення валів розглянемо на прикладі деталі «Вал-шестерня». На першому етапі підготовки вихідних даних для проектування технологічних процесів необхідно спроектувати 3-D модель деталі «Вал-шестерня» з використанням доступної проектанту для практичного використання CAD-системи (рис.3.17).

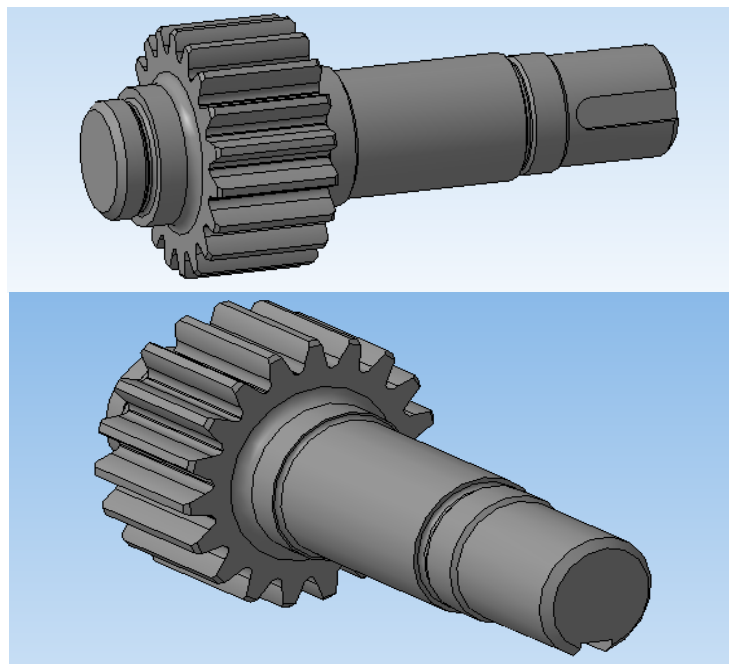


Рис.3.17. 3–D модель деталі «Вал-шестерня»

Масу деталі «Вал-шестерня» знайдемо за допомогою програми КОМПАС-3D V16, попередньо побудувавши 3-D модель деталі та додавши у відповідну графу необхідний матеріал (рис.3.18).

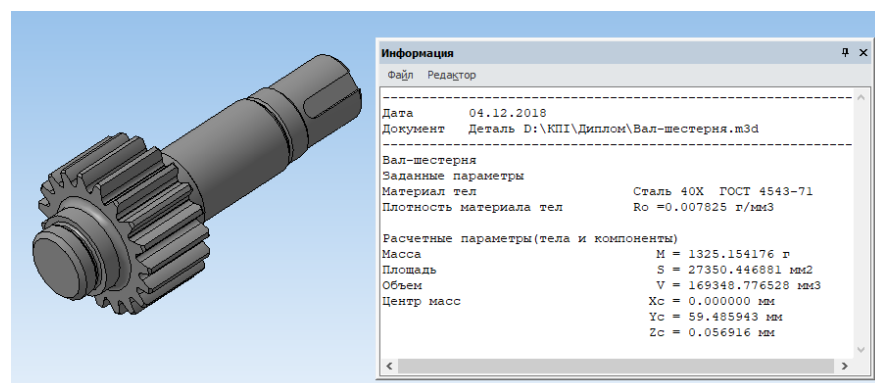


Рис.3.18. 3-D модель і характеристики деталі «Вал-шестерня»

За побудованою 3-D моделлю формується кресленик деталі (рис.3.19).

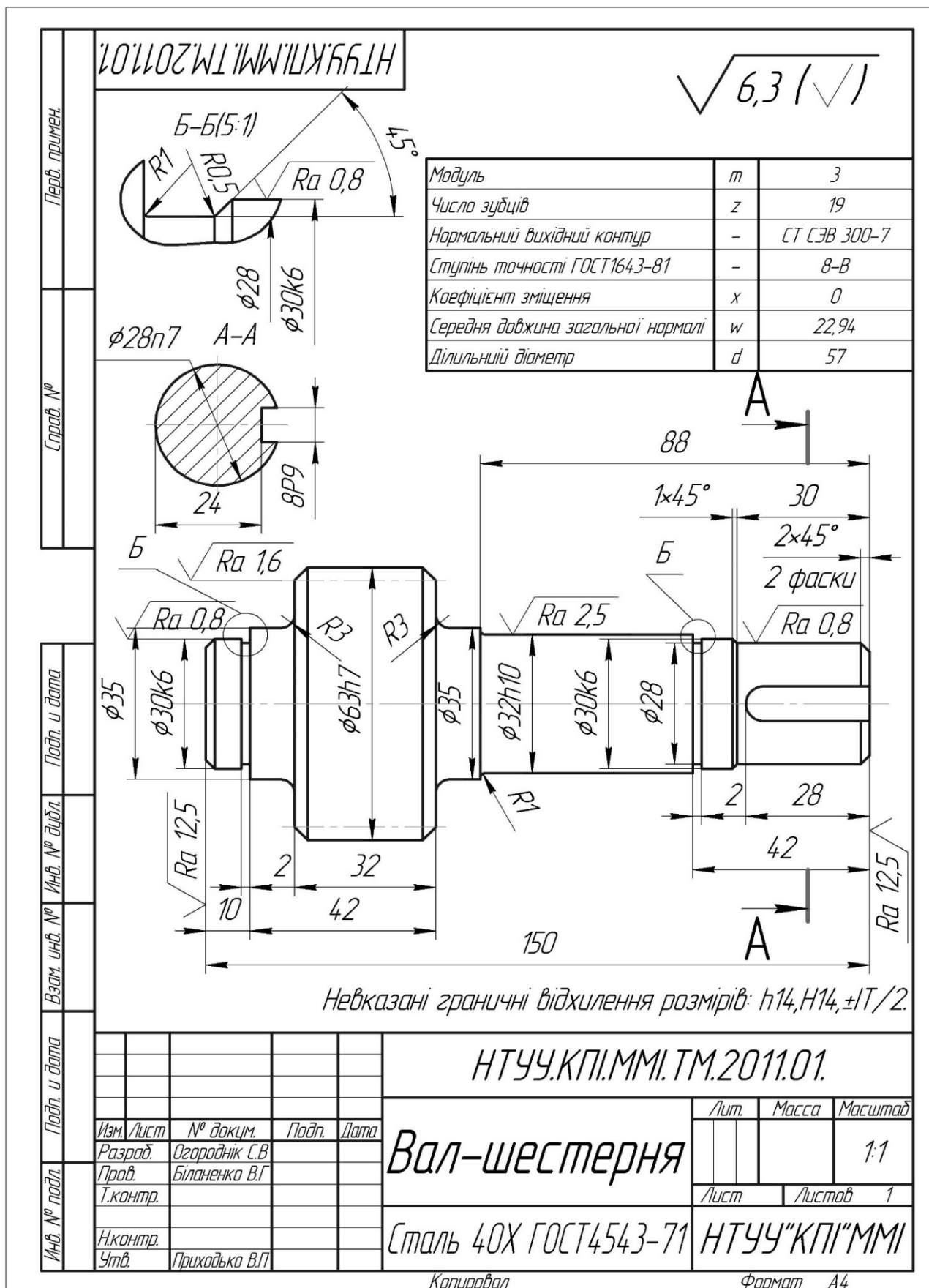


Рис.3.19. Кресленик деталі «Вал-шестерня»

3.7.1 Проектування ескізу заготовки деталі «Вал-шестерня»

У відповідності до кресленика деталі, заготовка деталі виготовляється з хромистої сталі-сталь 40Х ГОСТ4543-2016. Для вирішення технологічних завдань проектування технологічних процесів, необхідно визначити основні фізико-механічні характеристики конструкційного матеріалу (табл.3.6.).

Таблиця 3.6-Фізико-механічні характеристики сталі 40Х ГОСТ 4543-2016

Тимчасовий опір при розтягуванні, σ_s , МПа	Твердість, НВ кгс/мм ²	Густина, ρ кг/м ³	Масова частка елементів, %				
			C	Si	Mn	Ni	Cu
980	217	7820	0,36-0,44	0,17-0,37	0,5-0,8	до 0,3	до 0,3

Проектування технологічного процесу будемо виконувати для умов середньосерійного багатомономенклатурного виробництва, яке базується на застосуванні сучасних верстатів з ЧПУ та багатофункціональних верстатів на їх основі.

Для прийняття подальших технологічних рішень, необхідно вибрати метод отримання і спроектувати ескіз заготовки вала. З урахуванням заданого конструктором конструкційного матеріалу (сталь 40Х) є очевидним, що заготовка повинна виготовлятися методами пластичного деформування. Враховуючи конструктивні особливості деталі «Вал-шестерня», а саме- незначні відмінності діаметрів різних ступенів валу та умови машинобудівного виробництва, а саме обмежений обсяг випуску таких валів, приймаємо метод виготовлення заготовки зі стандартного гарячекатаного прокату, що не вимагає здійснення спеціальних замовлень для виготовлення заготовки, наприклад, штампуванням, виключає необхідність створення спеціальної оснастки для виготовлення заготовки та зменшує тривалість часу на її виготовлення (рис.3.20.). Разом з тим, необхідною попередньою операцією виготовлення заготовки є операція відрізання заготовки заданої довжини з заданими відхиленнями від стандартного гарячекатаного прокату.

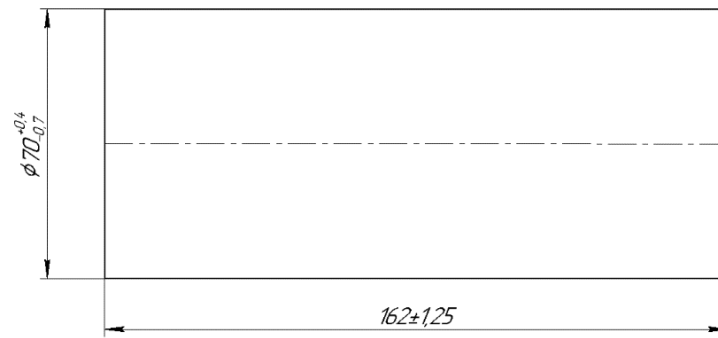


Рис.3.20. Ескіз заготовки деталі «Вал-шестерня»

3.7.2 Визначення технологічних баз для виготовлення деталі «Вал-шестерня»

У відповідності до загального алгоритму визначення технологічних баз необхідно:

- визначити загальні технологічні бази;
- визначити технологічні бази для перших операцій.

Для визначення загальних технологічних баз необхідно виконати класифікацію поверхонь валу за службовим призначенням (рис.3.21).

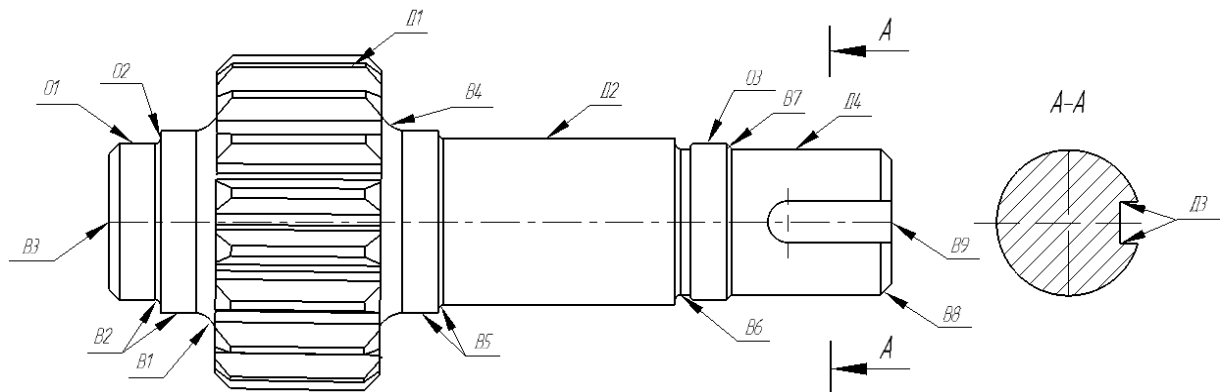


Рис.3.21. Класифікація поверхонь деталі за службовим призначенням

Основними конструкторськими базами даного валу є поверхні для встановлення підшипників O1 та O2 та прилегла торцева поверхня O3 (рис.3.20). Є очевидним, що даний комплект поверхонь валу не може бути використаний як комплект загальних технологічних баз (ЗТБ). За такої умови,

необхідно визначити комплект допоміжних технологічних баз (ДТБ), які можуть виконувати функції ЗТБ. Практикою машинобудівного виробництва визначена можливість створення допоміжних технологічних баз, які конструктивно виконуються, як центрові отвори в крайніх торцевих поверхнях валу і можуть виконувати функції ЗТБ. Використання поверхонь центрових отворів можуть забезпечувати наступні схеми базування по загальних технологічних базах (рис.3.22. та рис.3.23).

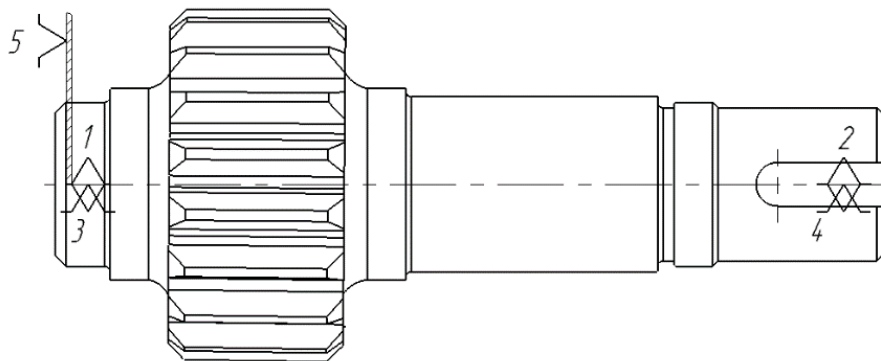


Рис.3.22. Теоретична схема базування деталі «Вал-шестерня» по загальній технологічній базі (ЗТБ)

Структурна формула даної схеми базування по ЗТБ (рис. 3.22) має вид:

$$СБ_{ЗТБ} \Rightarrow ПН(4) + O(1) \quad (3.7)$$

Конструктивна реалізація даної схеми базування передбачає використання «жорсткого» переднього і оберտального заднього центрів.

Наступна можлива схема базування по ЗТБ показана на рис.3.23.

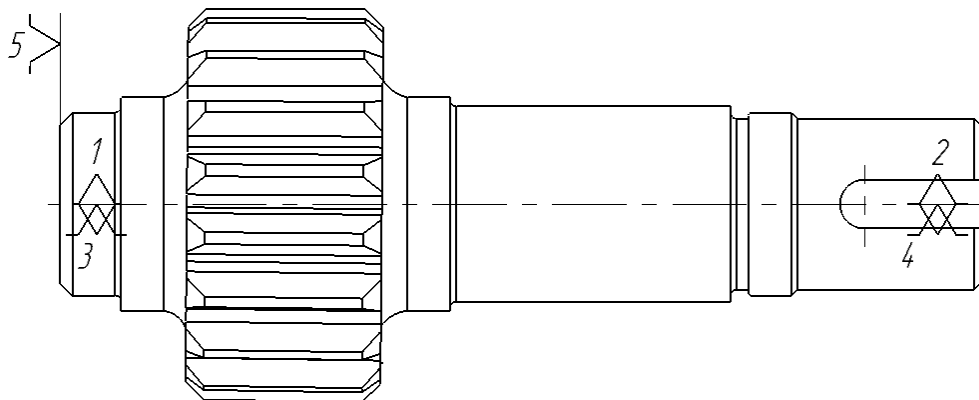


Рис.3.23. Теоретична схема базування деталі «Вал-шестерня» по загальній технологічній базі (ЗТБ)

Структурна формула даної схеми базування по ЗТБ (рис.3.23.) має вид:

$$CB_{ЗТБ} \Rightarrow ПН(4) + O(1) \quad (3.8)$$

Конструктивна реалізація даної схеми базування передбачає використання «плаваючого» переднього і обертального заднього центрів.

Після вибору схеми базування по ЗТБ необхідно перевірити можливість її незмінного використання для всіх технологічних операцій. Наведено дві схеми базування по ЗТБ, з яких обираємо найбільш технологічну схему для базування.

При наявності необхідних верстатних пристроїв, доцільно використовувати схему базування, що забезпечує оброблення всіх обробних поверхонь з похибкою базування для діаметральних та лінійних розмірів, яка дорівнює нулю і може бути використана незмінною на всіх операціях технологічного процесу оброблення деталі «Вал-шестерня», що наведена на рис.3.23.

На другому етапі вибору технологічних баз необхідно визначити схему базування для перших технологічних операцій. Загальною вимогою до всіх можливих схем базування для першої операції є забезпечення оброблення комплексу поверхонь загальних технологічних баз.

Обґрунтування технологічних баз для перших операцій є важливою складовою проектування технологічного процесу оброблення заданої деталі і забезпечує виконання ряду важливих технологічних завдань, а саме оброблення поверхонь загальних технологічних баз за першу технологічну операцію та чорнового оброблення поверхонь заготовки, які відкриті для оброблення, зменшення загальної кількості установок заготовки для виконання всього технологічного процесу.

При виборі поверхонь, які входять в комплект технологічних баз у відповідності за їх призначенням та ступенями вільності, яких вони полишають, доцільно враховувати наступні геометричні співвідношення:

- площа установочної бази повинна забезпечувати максимальну площу силового трикутника;

- напрямна база повинна забезпечувати найбільшу відстань розміщення опорних елементів, тобто мати максимальну довжину.

При виборі базових поверхонь для перших технологічних операцій необхідно забезпечити відкритість для оброблення всіх поверхонь загальних технологічних баз та вибрати такі верстати, які можуть здійснювати послідовне оброблення поверхонь *ЗТБ* для досягнення заданих характеристик якості. За інших умов необхідно приймати до уваги, що повний комплект загальних технологічних баз необхідно обробити при виконанні перших технологічних операцій.

При проектуванні перших технологічних операцій оброблення необхідно приймати до уваги важливе зауваження, а саме: ***повторна установка заготовки при реалізації операцій технологічного процесу на комплект всіх необроблених поверхонь не допускається.***

Вихідним документом для вибору технологічних баз для перших операцій є кресленик заготовки. Визначення технологічних баз для перших операцій оброблення валу необхідно виконувати у відповідності до загального алгоритму.

Розглянемо можливі схеми базування заготовки валу для перших операцій оброблення.

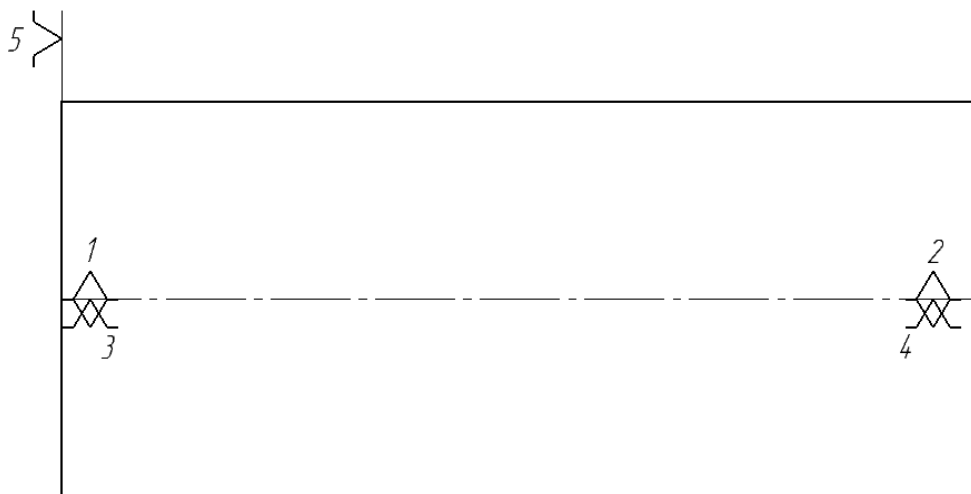


Рис. 3.24. Теоретична схема базування деталі «Вал-шестерня»

Структурна формула даної схеми базування по ТБ (рис.3.24) має вид:

$$CB_{TB} \Rightarrow PH(4) + O(1) \quad (3.9)$$

Для реалізації даної схеми базування необхідно використовувати самоцентрувальні пристрої, наприклад дві самоцентрувальні призми на фрезерно-центрувальному верстаті. Така схема базування може бути реалізована на токарному верстаті з ЧПУ з установкою заготовки в самоцентрувальному патроні та самоцентрувальному люнеті.

Наступна можлива схема базування по ЗТБ показана на рис.3.25.

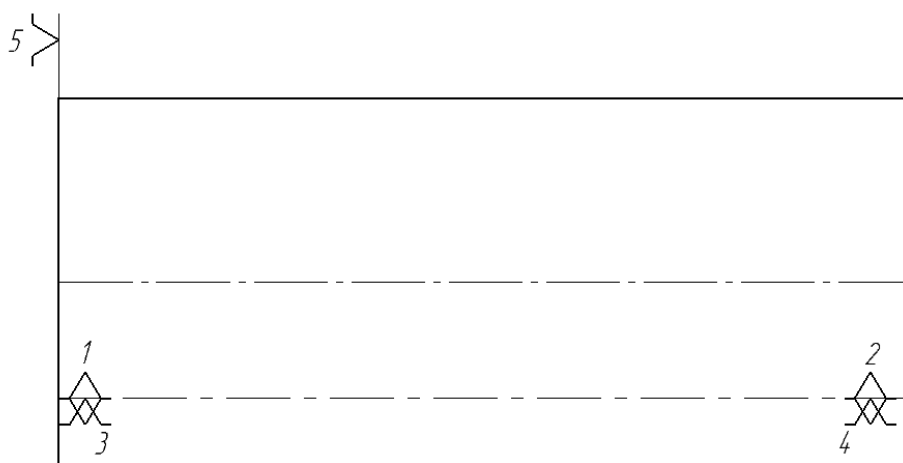


Рис.3.25. Теоретична схема базування деталі «Вал-шестерня»

Структурна формула даної схеми базування по ТБ (рис.3.25) має вид:

$$CB_{TB} \Rightarrow PH(4) + O(1) \quad (3.10)$$

Конструктивно таку схему базування можна реалізувати з використанням двох призм, нижня з яких нерухома, а верхня призма–рухома. Така схема базування є достатньо простою в реалізації і використовується на фрезерно-центрувальних верстатах.

Для проектування технологічного процесу обираємо схему базування по технологічних базах для перших операцій, яка наведена на рис.3.25, адже вона простіша в конструкторській реалізації та ще обираємо її з урахуванням того, що плануємо використовувати фрезерно-центрувальний верстат для оброблення комплекту загальних технологічних баз.

3.8 Проектування послідовностей оброблення елементарних поверхонь валу

На першому етапі проектування технологічних процесів оброблення деталей машин доцільно спроектувати послідовності оброблення окремих поверхонь заготовки, які за рекомендаціями технологічних джерел можуть в підсумку забезпечити досягнення заданих характеристик якості оброблення. Найбільш надійним джерелом такої технологічної інформації є власний досвід виробництва, який базується на результатах практично перевірених прийомів оброблення та контролю досягнутих характеристик якості. При відсутності таких даних доцільно використовувати рекомендації технологічних довідників [1,2,3], але необхідно приймати до уваги, що такі рекомендації визначають тільки вид оброблення, наприклад, точіння, свердління, фрезерування, який може бути використаний для оброблення поверхні, але не визначають характеристики верстатного обладнання, на якому необхідно це здійснювати, інструментальне забезпечення та складові режиму різання. Тому такі технологічні рекомендації потребують попереднього аналізу, подальшої практичної перевірки та уточнення. Попередній аналіз технологічних рекомендацій пов'язаний з урахуванням технологічних характеристик наявного верстатного обладнання, яке є в структурі дільниці цеху, коли проектування технологічних процесів орієнтоване на конкретне виробництво. Визначення необхідного додаткового фінансування, коли технологічне підготування виробництва передбачає його реконструкцію та переоснащення виробництва.

Типові технологічні послідовності оброблення поверхні не визначають, на яких етапах технологічного процесу вони будуть реалізовуватися, а обумовлюють їх обов'язкову наявність в технологічному процесі виготовлення деталі. Тому приймаючи до уваги спроектовані типові послідовності оброблення поверхонь, необхідно визначити їх розміщення в операціях технологічного процесу, верстати на яких вони будуть реалізовуватись, технологічне оснащення та режими різання.