

О. В. Дерібо

**ОСНОВИ
ТЕХНОЛОГІЇ
МАШИНОБУДУВАННЯ**

Частина 2

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

О. В. Дерібо

**ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ
МАШИНОБУДУВАННЯ**

Частина 2

Вінниця
ВНТУ
2015

УДК 621.01(075)

ББК 34.5я73

Д36

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 7 від 26 лютого 2014 р.)

Рецензенти:

Р. Д. Іскович-Лотоцький, доктор технічних наук, професор

В. І. Савуляк, доктор технічних наук, професор

І. П. Паламарчук, доктор технічних наук, професор

Дерібо, О. В.

Д36 Основи технології машинобудування. Частина 2 : навчальний посібник / О. В. Дерібо — Вінниця : ВНТУ, 2015. — 112 с.

Навчальний посібник відповідає програмі другої частини дисципліни «Основи технології машинобудування». Розглядаються питання впливу технологічних факторів на якість деталей машин, властивості поверхневого шару механічно оброблених поверхонь і вплив цих властивостей на експлуатаційні характеристики деталей. Розглядаються також основи проектування технологічних процесів механічної обробки заготовок деталей та складання машин і питання технологічної підготовки виробництва.

Посібник призначений для студентів денної та заочної форм навчання напрямів підготовки «Інженерна механіка» та «Машинобудування».

УДК 621.01(075)

ББК 34.5я73

© О. Дерібо, 2015

ЗМІСТ

Вступ	5
Розділ 1 ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ЯКІСТЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	6
1.1 Залишкові напруження в заготовках та їх вплив на якість деталей і машин.....	6
1.2 Вібрації в системі ВПІД та їх вплив на механічну обробку.....	10
1.3 Питання для самоконтролю.....	15
Розділ 2 ЯКІСТЬ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	16
2.1 Поняття поверхневого шару деталей та його структура..	16
2.2 Основні показники якості поверхневого шару. Вплив технологічних факторів на ці показники.....	17
2.3 Вплив показників якості поверхневого шару на експлуатаційні властивості деталей машин.....	23
2.4 Питання для самоконтролю.....	26
Розділ 3 ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ	27
3.1 Види технологічних процесів.....	27
3.2 Мета і основні етапи проектування технологічних процесів механічної обробки. Вихідна інформація для проектування.....	28
3.3 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	30
3.4 Вибір способу виготовлення вихідної заготовки.....	33
3.5 Вибір способів і кількості ступенів (переходів) механічної обробки поверхонь.....	34
3.6 Вибір технологічних баз.....	36
3.7 Розробка маршруту механічної обробки.....	43
3.8 Вибір обладнання та різальних інструментів.....	46
3.9 Порівняння маршрутів механічної обробки за мінімумом зведених витрат.....	48
3.10 Питання для самоконтролю.....	50
Розділ 4 ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ	52
4.1 Припуски для механічної обробки. Методи визначення припусків.....	52
4.2 Визначення технологічних розмірів обробки циліндричних поверхонь.....	63

4.3	Розмірний аналіз технологічних процесів.....	69
4.3.1	Вибір розташування технологічних розмірів.....	69
4.3.2	Визначення допусків вихідної заготовки і допусків технологічних розмірів.....	69
4.3.3	Побудова розмірної схеми технологічного процесу...	72
4.3.4	Побудова похідного і вихідного графів-дерев та суміщеного графа.....	74
4.3.5	Знаходження рівнянь технологічних розмірних ланцюгів.....	75
4.3.6	Визначення проміжних мінімальних припусків для обробки плоских поверхонь.....	76
4.3.7	Визначення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки, максимальних припусків, корекція допусків технологічних розмірів.....	77
4.4	Призначення режимів різання.....	84
4.5	Основи технічного нормування.....	88
4.6	Питання для самоконтролю.....	92
Розділ 5	ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ СКЛАДАННЯ МАШИН.....	93
5.1	Основні поняття технологічного процесу складання.....	93
5.2	Мета і основні етапи проектування технологічних процесів складання машин.....	94
5.3	Вихідна інформація для проектування технологічного процесу складання.....	94
5.4	Аналіз конструкції і технологічності виробу.....	95
5.5	Розробка технологічних схем складання.....	95
5.6	Попередня розробка технологічного маршруту складання. Встановлення типу виробництва.....	97
5.7	Вибір організаційної форми складання.....	97
5.8	Розробка маршрутної технології складання.....	99
5.9	Нормування складальних операцій.....	99
5.10	Випробування машин.....	100
5.11	Питання для самоконтролю.....	101
Розділ 6	ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА.....	102
6.1	Поняття технічної підготовки виробництва. Зміст і мета технологічної підготовки виробництва.....	102
6.2	Оформлення технологічних документів.....	103
6.3	Питання для самоконтролю.....	106
	Література.....	106
	Українсько-англійський словник найуживаніших термінів.....	109

ВСТУП

У другій частині дисципліни «Основи технології машинобудування» розглядаються питання впливу технологічних факторів на якість деталей машин, властивості поверхневого шару механічно оброблених поверхонь і вплив цих властивостей на експлуатаційні характеристики деталей. Висвітлені також основи проектування технологічних процесів механічної обробки заготовок деталей та складання машин.

Методологічну основу проектування технологічних процесів механічної обробки заготовок деталей та складання машин склали праці відомих вчених у галузі технології машинобудування професорів: Б. С. Балакшина, М. Є. Єгорова, А. І. Каширіна, В. М. Кована, В. С. Корсакова, І. М. Колесова, А. О. Маталіна, С. П. Митрофанова, П. О. Руденка, А. П. Соколовського, І. С. Солоніна та багатьох інших учених-машинобудівників.

В результаті вивчення дисципліни «Основи технології машинобудування» (у т. ч. її другої частини) студент повинен **знати** основні принципи проектування технологічних процесів і операцій виготовлення машинобудівних виробів і **вміти** розробляти та аналізувати ці технологічні процеси, виконуючи необхідні розрахунки, у т. ч. розмірні.

Дисципліна є основою для подальшого вивчення низки таких спеціальних дисциплін, як «Технологія машинобудування», «Складальні процеси в машинобудуванні», «Технологічне оснащення», «Основи автоматизації виробництва», «Технологічні основи гнучкого автоматизованого виробництва», «Проектування пристосувань», «Програмування та налагодження верстатів з ЧПК», «Технології та верстати з ЧПК» та інших, а також для курсового й дипломного проектування.

Навчальний посібник призначений для студентів денної та заочної форм навчання напрямів підготовки «Інженерна механіка» та «Машинобудування».

Розділ 1 ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ЯКІСТЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

1.1 Залишкові напруження в заготовках та їх вплив на точність деталей і машин

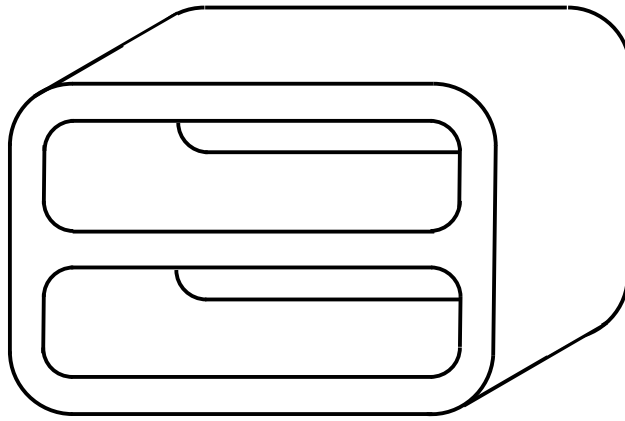
Залишкові напруження (residual stresses) існують в матеріалі заготовки або деталі за відсутності зовнішніх навантажень. Такі напруження повністю врівноважуються і зовні ніяк не проявляються. З порушенням рівноваги, спричиненим зняттям припуску, обробкою пластичним деформуванням або термічним впливом, заготовка або деталь змінюватиме форму доти, поки перерозподіл напружень не замовить новий рівноважний стан.

Розглянемо причини виникнення залишкових напружень в матеріалі заготовок.

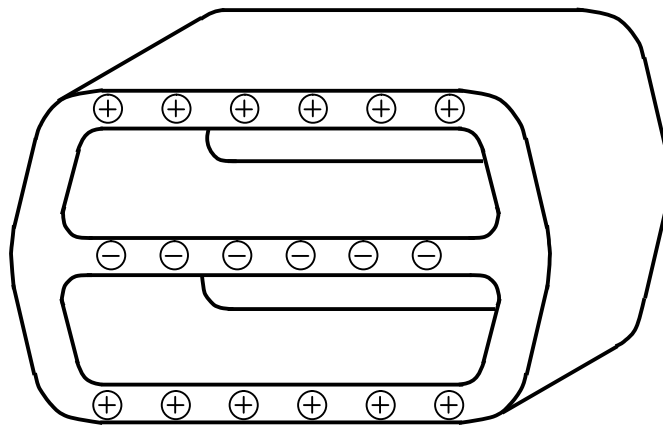
Під час остигання литих, штампованих і зварних заготовок відбувається зменшення їх розмірів. Це явище називають *усадкою (shrinkage)*.

Під час остигання заготовки перехід різних об'ємів металу з пластичного стану в пружний може відбуватись неодноразово. Для чавуну такий перехід відбувається в діапазоні температур 500...600 °С, для сталі відповідно 600...700 °С.

Розглянемо *приклад*. Припустимо, що лита чавунна заготовка має коробчасту форму з внутрішньою перегородкою (рис. 1, а). Припустимо також, що після заповнення форми розплавленим металом стінки остигатимуть швидше за перегородку. Якісно проаналізуємо розподіл напружень в стінках і в перегородці заготовки в процесі остигання. Позначимо знаком «+» напруження розтягу, а знаком «-» напруження стиску. Якщо в деякий момент часу температура стінок $t_{ст}$ буде меншою за 500 °С, а температура перегородки $t_{пер}$ більшою за 600° С, то це означатиме, що в цей момент часу стінки перебуватимуть вже в пружному стані, а перегородка ще в пластичному. Оскільки $t_{пер} > t_{ст}$, то перегородка буде дещо довшою за стінки і тому стінки будуть стискати перегородку. Схема розподілу напружень для моменту часу, що розглядається, показана на рис. 1, б. Під дією напружень стиску пластична перегородка буде скорочуватись і в момент переходу в пружний стан її довжина буде близькою до довжини стінок. Під час подальшого остигання до температури цеху скорочуватимуться як стінки, так і перегородка, але оскільки в момент переходу перегородки в пружний стан її температура більша за температуру стінок, то загальна усадка перегородки буде більшою за загальну усадку стінок і через це з досягненням температури цеху $t_{цеху}$ у ній виникнуть напруження розтягу, а в стінках — напруження стиску. Схема розподілу напружень в елементах заготовки на момент повного остигання показана на рис. 1, в.

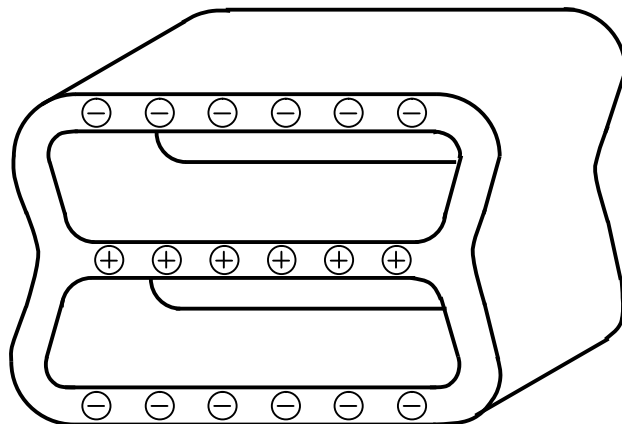


a)



$t_{ст} < 500\text{ }^{\circ}\text{C}$
 $t_{пер} > 600\text{ }^{\circ}\text{C}$

б)



$t_{ст} = t_{пер} = t_{цеху}$

в)

Рисунок 1 — Механізм виникнення залишкових напружень в литій заготовці корпусної деталі

Очевидно, що чим повільніше проходитиме процес остигання ливарної форми, тим меншої величини залишкові напруження виникатимуть в заготовці.

З часом через вплив дифузійних процесів залишкові напруження в металі деталі перерозподіляються і частково розсіюються. В результаті цього деталь може настільки змінити форму, що машина, в яку вона входить, вже не зможе виконувати свої функції. Тому під час виготовлення машин підвищеної та високої точності, наприклад, металорізальних верстатів, залишкові напруження в деталях повинні бути мінімальними.

Заходи щодо зменшення залишкових напружень в матеріалі заготовок поділяють на конструкторські і технологічні.

Конструкторські заходи [17] передбачають:

- забезпечення раціонального співвідношення товщин внутрішніх і зовнішніх стінок;
- усунення масивів металу;
- збільшення податливості елементів деталі, які можуть гальмувати процес усадки.

Суть останнього заходу можна пояснити на прикладі конструкції литої заготовки маховика (рис. 2).

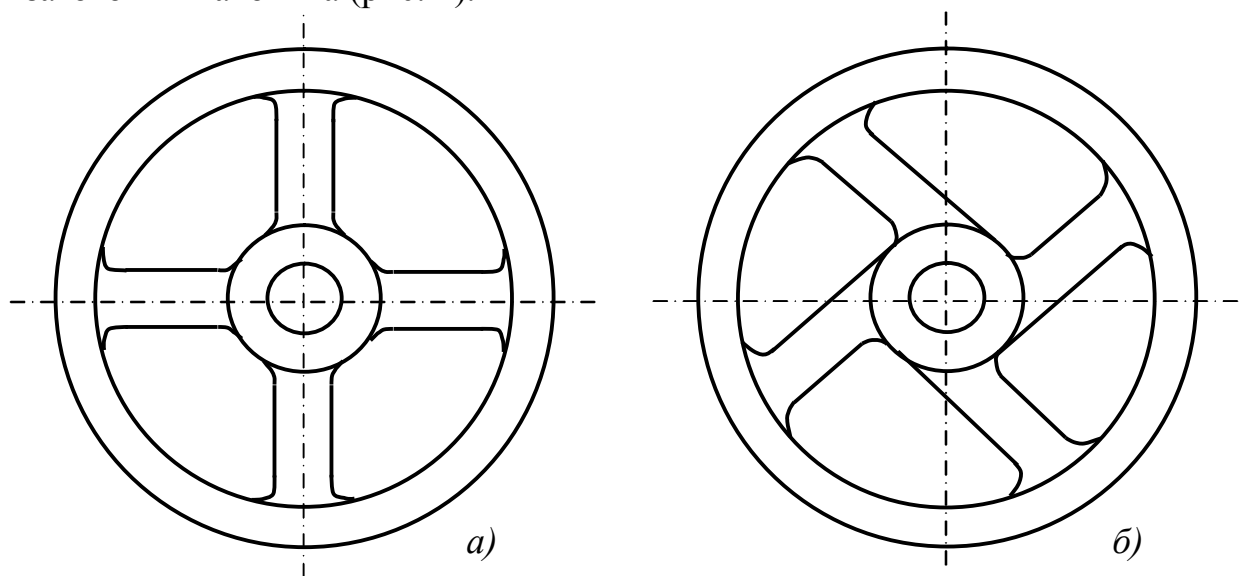


Рисунок 2 — Нераціональна (а) і раціональна (б) конструкції заготовки маховика з точки зору утворення залишкових напружень

Для усунення впливу залишкових напружень в точних верстатах використовують станини з природного каменю або з полімерного бетону (як, наприклад, у токарному верстаті з ЧПК МК6801Ф3).

До технологічних заходів відносять:

- природне старіння;
- штучне старіння;
- вібраційне старіння.

Природне старіння (natural ageing) полягає у тривалому зберіганні (вилежуванні) заготовок на відкритому повітрі під навісом. Тривалість вилежування складає 6 ... 12 місяців. Природне старіння зазвичай проводять після попередньої (чорнової) обробки заготовки. Його перебігу сприяє природна періодична зміна температури навколишнього повітря. Основні недоліки цього способу — значна тривалість процесу і неповне усунення залишкових напружень. Графік залежності зменшення залишкових напружень від часу вилежування [18] показаний на рис. 3. З графіка випливає, що через півроку залишкові напруження зменшуються лише на 30%.

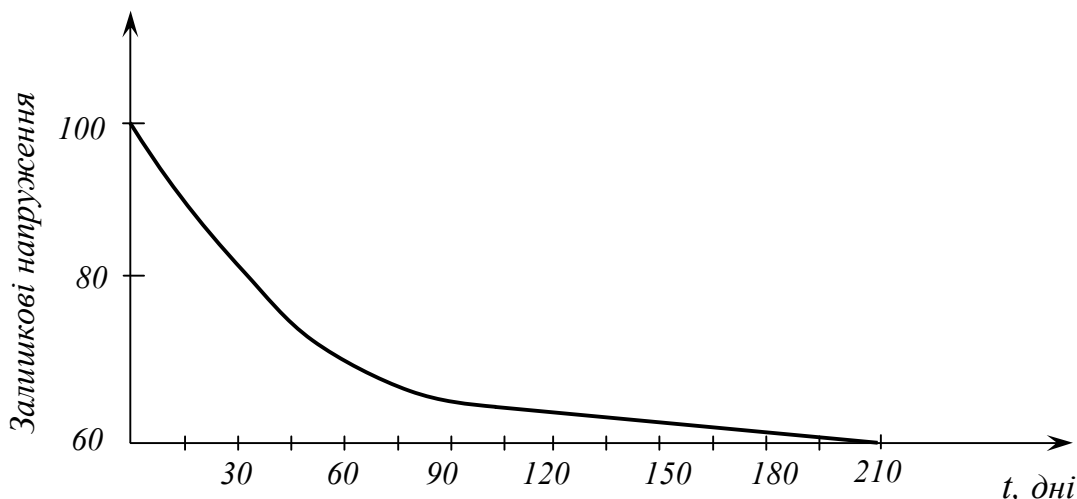


Рисунок 3 — Зменшення залишкових напружень в процесі природного старіння [18]

Штучне старіння (artificial ageing) використовують для зменшення залишкових напружень в дрібних та середніх виливках. Для крупних виливків використання штучного старіння обмежується розмірами печі. Штучне старіння полягає у повільному нагріванні заготовок до 500 ... 600 °С, витримці за такої температури протягом 1 ... 6 годин (в залежності від розміру виливків) і подальшому повільному охолодженні в печі до температури 150 ... 200 °С. Швидкість нагрівання має складати 60 ... 150 °С/год, швидкість охолодження відповідно 25 ... 75 °С/год. Нижче 150 °С охолодження може відбуватись на відкритому повітрі. Графік впливу температури штучного старіння на залишкові напруження показаний на рис. 4. З графіка випливає, що штучне старіння може повністю усунути залишкові напруження в заготовках деталей машин.

Вібраційне старіння (vibratory ageing) виливків середніх розмірів здійснюють на вібростендах. На заготовках крупних станин встановлюють в певних місцях вібратори, які створюють високочастотні коливання у поздовжньому й поперечному напрямках. В результаті прикладання вібрацій у виливку виникають напруження, які створюють регламентовані пластичні деформації. Це частково знімає залишкові напруження.

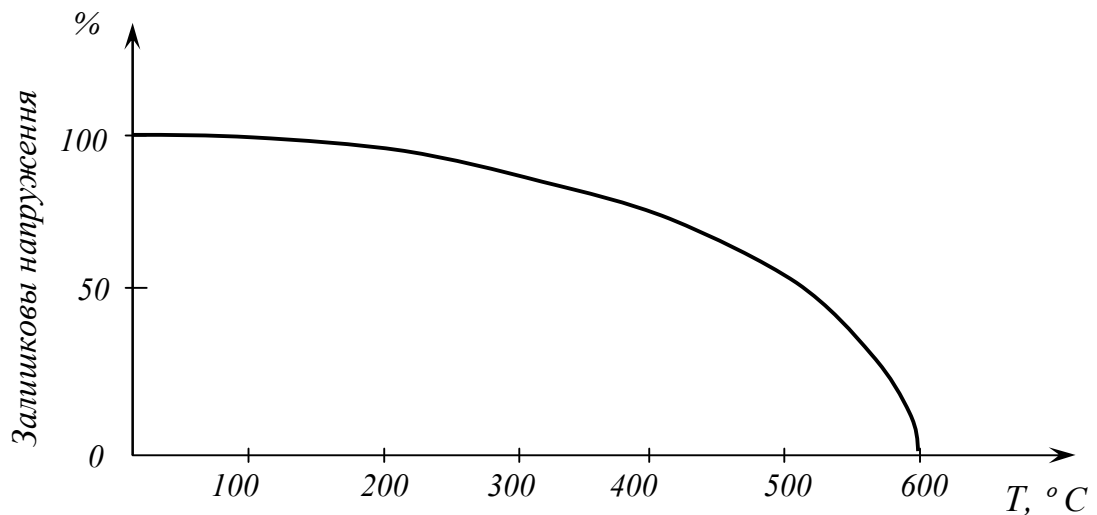


Рисунок 4 — Вплив температури на зменшення залишкових напружень під час штучного старіння [18]

Література — [17, С. 391—393, 396, 397], [18, С. 95—102].

1.2 Вібрації в системі «верстат — пристрій — інструмент — деталь» та їх вплив на механічну обробку

Вібрація (vibration) — це рух матеріальної точки або механічної системи, під час якого відбуваються коливання величин, що його характеризують (переміщення, швидкості, прискорення). Таким чином, вібрації – це коливання механічних систем.

Вібрації, які виникають в системі «верстат — пристрій — інструмент — деталь» (системі ВПД) під час механічної обробки, можуть спричинятися зміною величини сили різання через нерівномірність припуску, зовнішніми поштовхами і струсами, дисбалансом обертових частин системи ВПД та іншими факторами. Вібрації в системі ВПД найчастіше супроводжуються переміщенням різальної частини інструмента у напрямку нормалі до оброблюваної поверхні. Наслідком таких переміщень є хвилястість обробленої поверхні, інтенсивний знос і навіть руйнування різальної кромки інструмента. Вібрації призводять також до швидкого зносу деталей верстата і спричиняють підвищений шум, який втомлює робітника. Виникнення інтенсивної вібрації у багатьох випадках змушує знижувати режими різання і таким чином зменшувати продуктивність роботи верстатів. Через це вібрації, що виникають в системі ВПД, зазвичай є негативним явищем.

Вібрації в системі ВПД можуть бути коливаннями одного з трьох видів: вільними коливаннями; вимушеними коливаннями або автоколиваннями.

Питання вібрацій безпосередньо пов'язані з питанням *стійкості* системи.

Стійкою вважається система, відхилення якої від стану рівноваги або руху за заданим законом, спричинене обмеженням за величиною впливом, з плином часу зменшується.

На рис. 5 показані приклади стійких механічних систем.

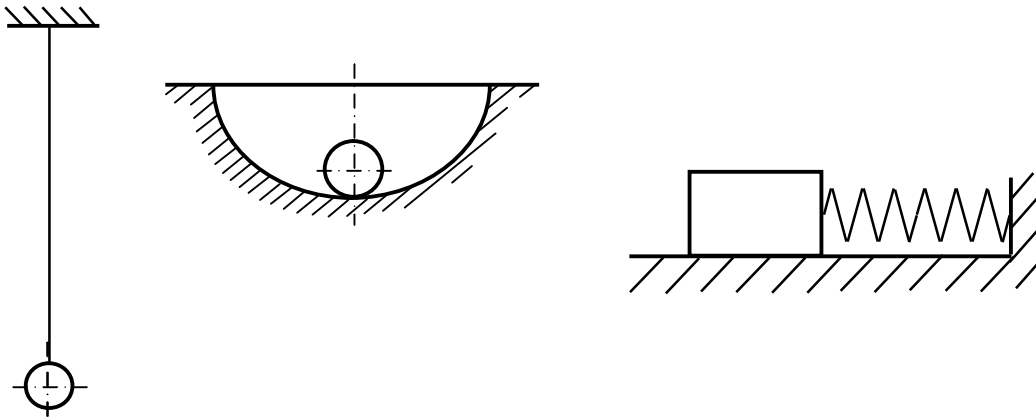


Рисунок 5 — Приклади стійких механічних систем

Розглядаючи вібрації в системі ВПД, у склад її елементів вносять приводи верстата і враховують закономірності процесів різання та тертя.

Вібрації, що спричиняються вільними коливаннями системи ВПД

Вільні коливання (**free oscillations**) виникають тільки в стійких системах під впливом зовнішніх силових факторів неперіодичної дії — різкої зміни навантаження, поштовхів, ударів тощо і в реальних механічних системах є згасальними коливаннями. В системі ВПД вільні коливання можуть виникати через різку зміну глибини різання (наприклад, в момент врізання) або через зовнішні поштовхи. Типова часова характеристика процесу вільних коливань, спричинених різкою зміною глибини різання t , показана на рис. 6.

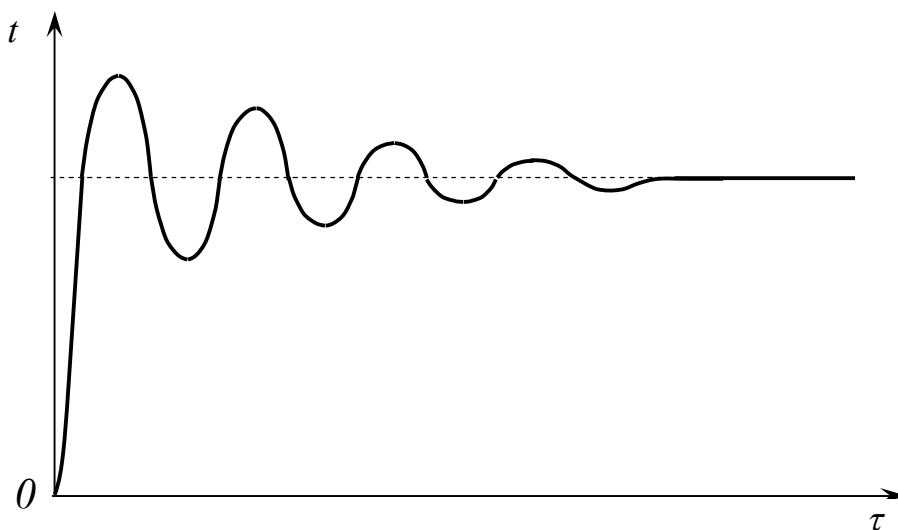


Рисунок 6 — Типова часова характеристика процесу вільних коливань, спричинених різкою зміною глибини різання t

Частота вільних коливань ω_0 складає

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{j}{m}},$$

де j і m — відповідно, жорсткість і маса коливальної системи.

Через вплив факторів, що зумовлюють розсіювання енергії (сили тертя, демпфування в матеріалі елементів конструкції), вільні коливання в реальних системах ВПД досить швидко згасають (див. рис. 6).

Основними засобами зменшення впливу вільних коливань на якість механічної обробки є підвищення жорсткості елементів системи ВПД та забезпечення ефективної віброізоляції верстата.

Вібрації, зумовлені вимушеними коливаннями системи ВПД

Вимушені коливання (forced oscillations) в механічній системі спричиняються впливом зовнішнього збудника періодичної дії. Як і вільні коливання, вимушені коливання можуть виникати тільки в стійких системах.

В системі ВПД вимушені коливання можуть спричинятися такими факторами:

- переривчастим характером процесу різання;
- нерівномірним припуском;
- дисбалансом обертових частин верстата, верстатного пристрою, заготовки, різального або допоміжного інструменту;
- дефектами передач і приводів;
- впливом розташованих неподалік машин, робота яких супроводжується інтенсивною вібрацією.

Частота вимушених коливань дорівнює частоті коливань збудника періодичної дії. Амплітуда вимушених коливань залежить від амплітуди на виході збуджувального джерела і співвідношення частот власних коливань системи і частоти періодичного збудника. Якщо ці частоти близькі за величиною, то в системі відбувається явище резонансу, і амплітуда вимушених коливань суттєво збільшується. На рис. 7 показаний приклад амплітудно-частотної характеристики механічної системи.

Інтенсивність вібрацій, зумовлених вимушеними коливаннями в системі ВПД, зменшують завдяки таким заходам:

- підвищенням жорсткості системи ВПД (це зміщує резонанс в зону високих частот через підвищення частоти вільних коливань елементів системи ВПД і забезпечує обробку в зоні відсутності резонансних явищ);
- балансуванням швидкообертових частин;
- використанням засобів віброізоляції і віброзахисту від впливу зовнішніх силових періодичних впливів.

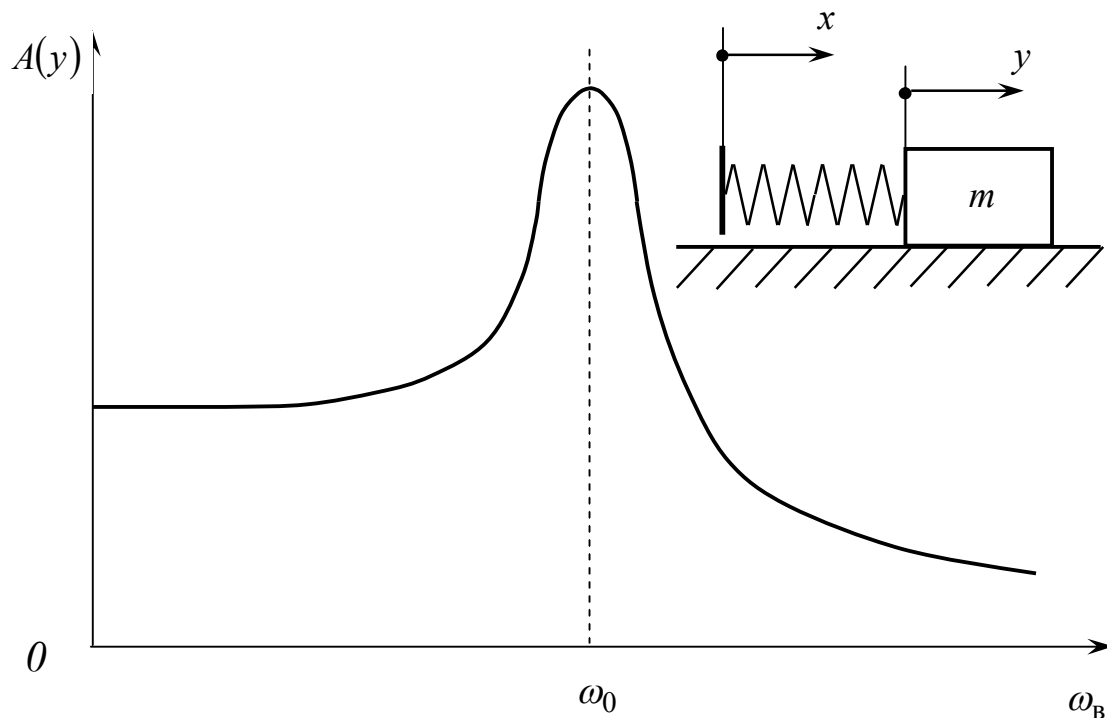


Рисунок 7 — Амплітудно-частотна характеристика механічної системи $x = A(x)\sin \omega_B t$ — рівняння коливань зовнішнього періодичного збудника; $y = A(y)(\sin \omega_B t + \varphi)$ — рівняння вимушених коливань механічної системи

Вібрації в системі ВПД, що спричиняються автоколиваннями

Автоколивання (self-oscillations) — це незгасальні коливання, які виникають в нелінійній неконсервативній системі з неколивальним джерелом енергії.

Неконсервативною називають систему, у якій під час коливань відбувається розсіювання енергії, зумовлене пружною недосконалістю матеріалу деталей, тертям в нерухомих з'єднаннях, тобто так званим конструкційним демпфуванням.

Оскільки автоколивання є незгасальними коливаннями, то можна вважати, що система ВПД, у якій вони виникають, є нестійкою.

В нестійких системах коливання виникають за відсутності впливу видимих зовнішніх факторів. Змінна періодична сила, що підтримує автоколивання, створюється і підтримується самою системою. Важливо, що в системі ВПД, схильній до автоколиваний, вібрації починаються одночасно з початком процесу різання і закінчуються зразу ж після його припинення.

Часова характеристика процесу автоколиваний в системі ВПД показана на рис. 8.

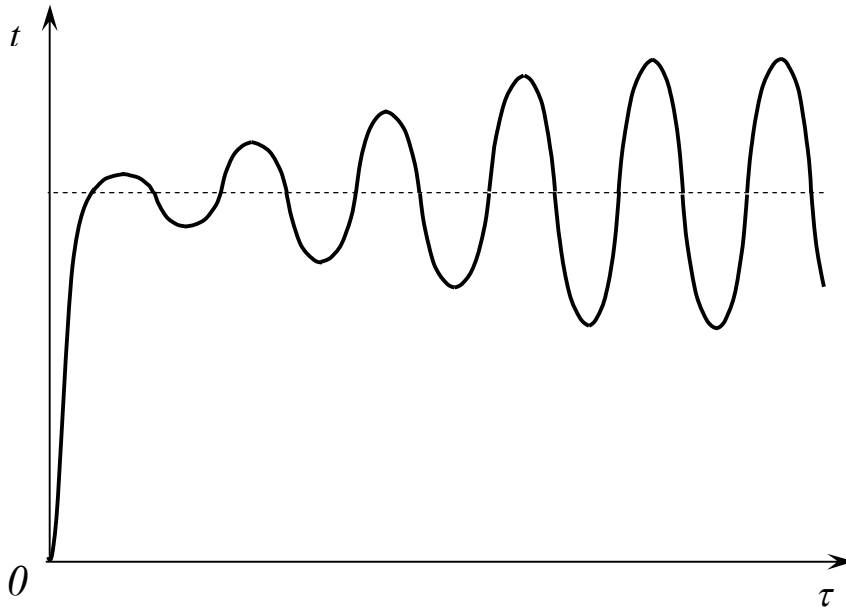


Рисунок 8 — Часова характеристика процесу автоколивань в системі ВПД

Амплітуда і частота автоколивань визначаються структурою і параметрами коливальної системи.

Стосовно природи первинного джерела збудження автоколивань в процесі різання єдиної точки зору на сьогодні немає, оскільки природа цих коливань досить складна і потребує подальших ґрунтовних досліджень. Разом з тим, досвідом підтверджується гіпотеза Н. І. Ташлицького про те, що джерелом збудження автоколивань в системі ВПД з недостатньою жорсткістю є запізнювання зміни сили різання під час змінення товщини шару металу, що зрізається, через наближення і віддаляння різальної кромки інструмента і заготовки в динаміці їх відносного руху в процесі різання.

Встановлено, що частота автоколивань близька до частоти власних коливань одного з пружних контурів системи ВПД. В залежності від технологічних умов автоколивання можуть бути низькочастотними (50...300 Гц) або високочастотними (800...3000 Гц). Виникають вони одночасно або незалежно одні від одних. Зазвичай в низькочастотні коливання вступає оброблювана заготовки разом з верстатом, а у високочастотні — інструмент. Низькочастотні коливання спричиняють грубу хвилястість обробленої поверхні, а високочастотні — дрібні «брижі».

Через надзвичайно шкідливий вплив автоколивань в системі ВПД на якість і продуктивність обробки, а також на стійкість різального інструмента, під час проектування і виготовлення верстатів та технологічного оснащення завжди має ставитися і розв'язуватися задача усунення або зменшення до допустимого мінімального рівня цих коливань завдяки підвищенню стійкості системи ВПД. Найефективнішим засобом боротьби з автоколиваннями в системі ВПД є забезпечення достатньої жорсткості всіх її елементів.

1.3 Питання для самоконтролю

1. Причини виникнення залишкових напружень в заготовках деталей машин.
2. Чому залишкові напруження в заготовках деталей машин впливають на точність деталей і машин?
3. Шляхи зменшення залишкових напружень в заготовках деталей машин.
4. Що таке вібрація?
5. Якими видами коливань можуть бути вібрації в системі ВПД?
6. Чи виникають вільні коливання в стійких системах?
7. Чи виникають вимушені коливання в стійких системах?
8. Чи виникають автоколивання в стійких системах?
9. Від чого залежать частота і амплітуда вимушених коливань?
10. Від чого залежать частота і амплітуда автоколивань?
11. Який характер впливу має жорсткість системи ВПД на появу, частоту та амплітуду автоколивань?
12. Шляхи підвищення вібростійкості системи ВПД.

Література — [11, С. 92—101], [26, С. 60—64].

Розділ 2 ЯКІСТЬ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

2.1 Поняття поверхневого шару деталей та його структура

Забезпечення якості машини і тривалість її збереження суттєво залежать від стану *поверхневого шару (surface layer)* її деталей.

Світовий досвід експлуатації машин показує, що основною причиною виходу їх з ладу ($\approx 80\%$ випадків) є знос поверхонь пар тертя. Решта 20% припадають на поломки деталей від перевантаження та корозійний знос.

Знос пар тертя, поломки через утому металу, корозійний знос значною мірою залежать від характеристик поверхневого шару. В техніці під поверхневим шаром деталі розуміють шар, який за структурою та іншими властивостями відрізняється від внутрішнього об'єму металу. Сукупність властивостей, які набуваються поверхнею деталі в результаті її механічної, термічної, хіміко-термічної обробки характеризується узагальненим поняттям — «якість поверхні».

Поверхневий шар не є однорідним за будовою. Структура поверхневого шару шліфованої сталеві деталі показана на рис. 9.

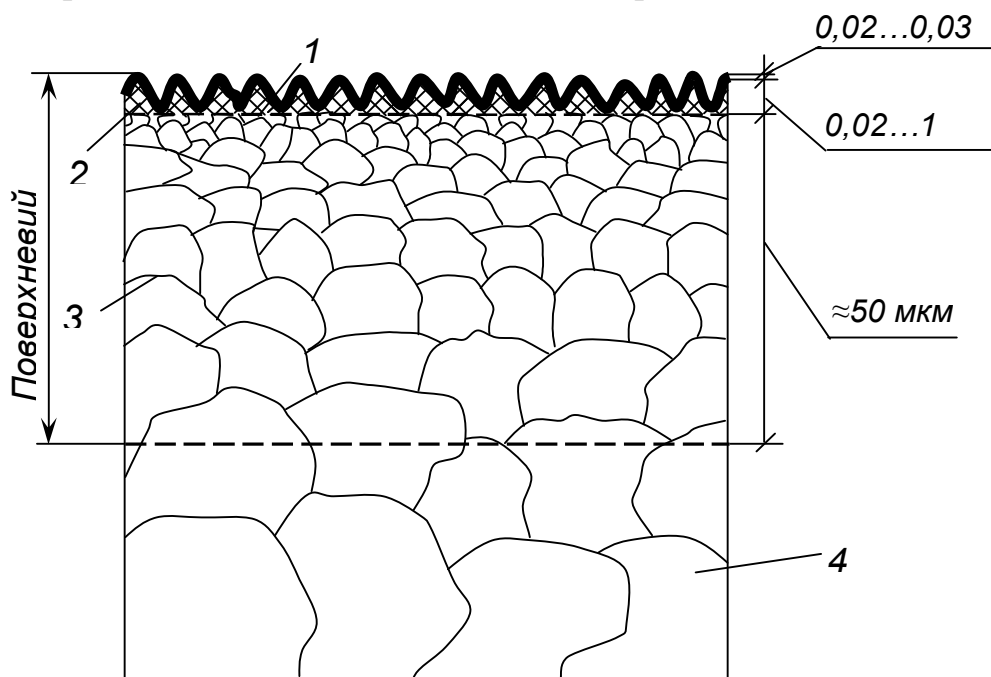


Рисунок 9 — Структура поверхневого шару шліфованої сталеві деталі

Граничний шар 1 складається з адсорбованої плівки газів, вологи та мастильно-охолодної рідини. Шар 2 складається з дуже подрібнених зерен металу з істотно спотвореною кристалічною решіткою. У цьому шарі містяться окисли, порожнини й мікротріщини, що утворились в процесі механічної обробки. Перехідний шар 3 складається з зерен, які помітно здеформувалися під дією сил різання. Шар 4 — це метал з вихідною структурою.

Товщина поверхневого шару в залежності від виду обробки зазвичай складає:

- після точіння — 0,25...2 мм;
- після шліфування — 12...75 мкм;
- після тонкого шліфування — 2...25 мкм;
- після полірування — 0,2 мкм.

Основними показниками стану поверхневого шару є:

- шорсткість;
- ступінь зміцнення (наклеп);
- величина і знак залишкових напружень.

2.2 Основні показники якості поверхневого шару. Вплив технологічних факторів на ці показники

Шорсткість поверхні

Шорсткість поверхні (surface roughness) — це сукупність нерівностей з відносно малими кроками, які утворюють мікрорельєф поверхні.

Величина шорсткості поверхонь, які є конструкторськими базами, значною мірою визначає експлуатаційні характеристики машин, оскільки суттєво впливає на тертя та знос в рухомих з'єднаннях, а також на стабільність і визначеність зазорів і натягів в нерухомих з'єднаннях.

Міцність деталей також залежить від шорсткості поверхні. Руйнування деталей під час їх експлуатації найчастіше починається з поверхневого шару через концентрацію напружень, які є наслідком наявних нерівностей. Чистова обробка деталей (пластичне поверхнєве деформування, полірування та ін.) істотно підвищують їхню утомну міцність.

Для кількісного оцінювання шорсткості поверхні ГОСТ 2789—78 встановлені такі параметри:

R_a — середнє арифметичне відхилення профілю;

R_z — висота нерівностей профілю по десяти точках;

R_{\max} — найбільша висота нерівностей профілю;

S_m — середній крок нерівності профілю;

S — середній крок нерівностей профілю по вершинах;

t_p — відносна опорна довжина профілю.

В машинобудуванні для оцінювання шорсткості поверхні найчастіше використовуються величини R_a і R_z .

Базою для визначення відхилень профілю є середня лінія — пряма, яка має форму номінального профілю і проведена так, щоб в межах базової довжини середнє квадратичне відхилення відстаней від поверхні профілю до цієї лінії було мінімальним.

Величина R_a визначається як середнє арифметичне абсолютних значень відхилення у профілю від середньої лінії в границях базової довжини l (рис. 10)

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx ,$$

або наближено

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| ,$$

де n – кількість точок, в яких визначаються відхилення профілю.

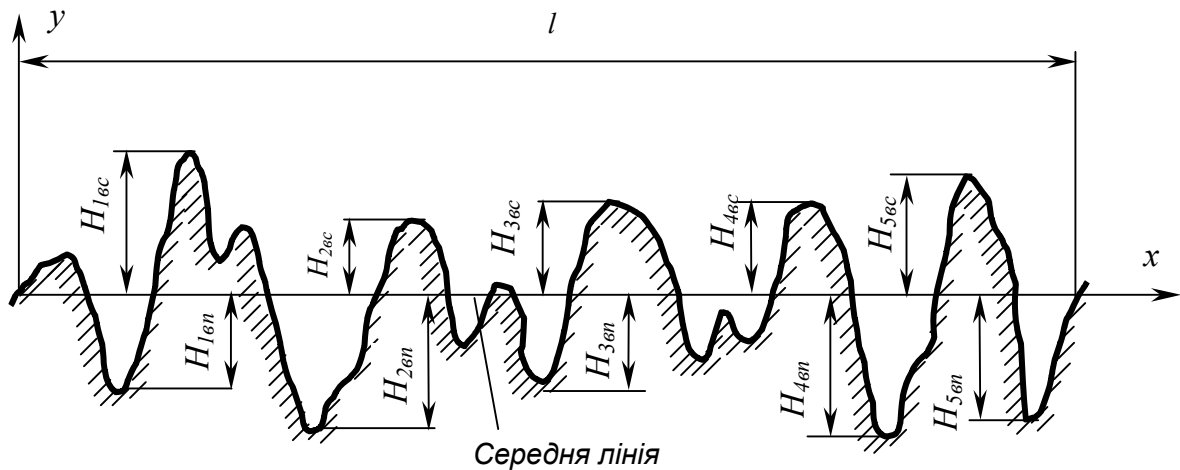


Рисунок 10 — Схема мікропрофілю поверхні для визначення параметрів шорсткості

Величина Rz визначається як сума середніх абсолютних відхилень від середньої лінії п'яти вищих за інші виступів і п'яти глибших за інші впадин профілю в межах базової довжини:

$$Rz = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |H_{i_{вс}}| + \sum_{i=1}^5 |H_{i_{вп}}| \right) ,$$

де $H_{i_{вс}}$ — висота i -го виступу профілю, $H_{i_{вп}}$ — глибина i -ої впадини профілю.

Базова довжина залежить від очікуваного значення параметра шорсткості Rz або Ra і визначається за довідниками. Так, наприклад, якщо Rz знаходиться в межах від 320 до 80 мкм, то базова довжина дорівнює 8 мм, якщо ж Rz знаходиться в межах від 0,1 до 0,32 мкм, то базова довжина складе 0,08 мм.

Між величинами Rz та Ra існує певне співвідношення

$$Ra = \frac{1}{k} Rz .$$

Для попередньо оброблених поверхонь $k \approx 4$, для поверхонь, отриманих чистою обробкою, величина k ближче до 5.

Формули для визначення параметрів R_{\max} , S_m , S та t_p є, наприклад, в [11, С. 222—225].

Важливе практичне значення мають дані щодо впливу на шорсткість поверхні факторів процесу різання. Поява мікронерівностей під час різання металу спричиняється спільним впливом його пластичної плинності із зони первинної деформації в сторону вершин мікронерівностей; вібрацій технологічної системи; наростуотворення, зношування різальної кромки інструмента тощо.

Вплив наростуотворення на формування мікронерівностей під час точіння можна пояснити так. В результаті адгезійної взаємодії на передній поверхні різця утворюється нарост. Поступово він збільшується в розмірах і все більше заглиблюється в оброблювану заготовку. Це збільшує опір заглибленню, призводить до утворення тріщини в нарості та спричиняє його руйнування. Зруйнований нарост розділяється на три частини — одна з них міцно скріплюється зі стружкою і виноситься з нею, друга залишається на передній поверхні різця і є основою для формування нового наросту, а третя залишається на обробленій поверхні і впливає на розміщення і розміри мікронерівностей, утворюючи характерну лускатість.

Наростуотворення значною мірою зумовлює вплив на шорсткість поверхні швидкості різання. Якщо швидкість різання мала, то нарост відсутній і висота мікронерівностей невелика. Зі збільшенням швидкості висота наросту збільшується, а разом з нею зростає висота мікро нерівностей, досягаючи максимуму в зоні найінтенсивнішого наростуотворення. Далі нарост зменшується, зумовлюючи зниження шорсткості через зменшення об'єму пластичної деформації і коефіцієнта тертя на площинах контакту. Якщо оброблюваний матеріал не схильний до наростуотворення, то висота мікронерівностей монотонно зменшується зі збільшенням швидкості різання, хоча рівень цього зменшення невеликий. Якщо швидкість різання перевищує 120...150 м/хв, то вона у більшості випадків практично перестає впливати на шорсткість. Типова залежність параметра Rz від швидкості різання показана на рис. 11.

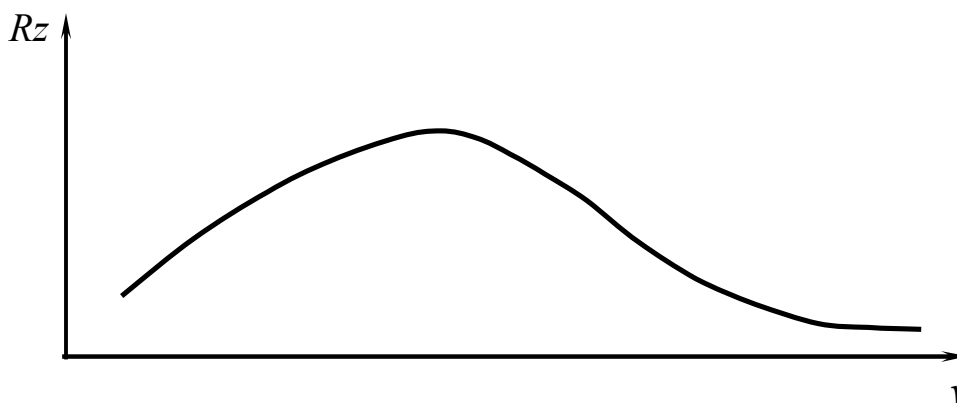


Рисунок 11 — Типова залежність параметра Rz від швидкості різання

Зі збільшенням подачі шорсткість обробленої поверхні збільшується (рис. 12).

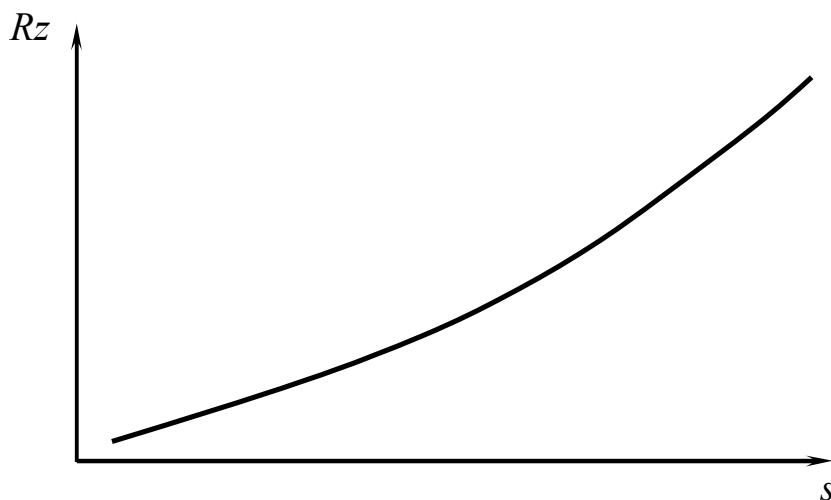


Рисунок 12 — Типова залежність параметра Rz від подачі

Глибина різання (ширина зрізу) значного впливу на шорсткість обробленої поверхні не має (рис. 13).

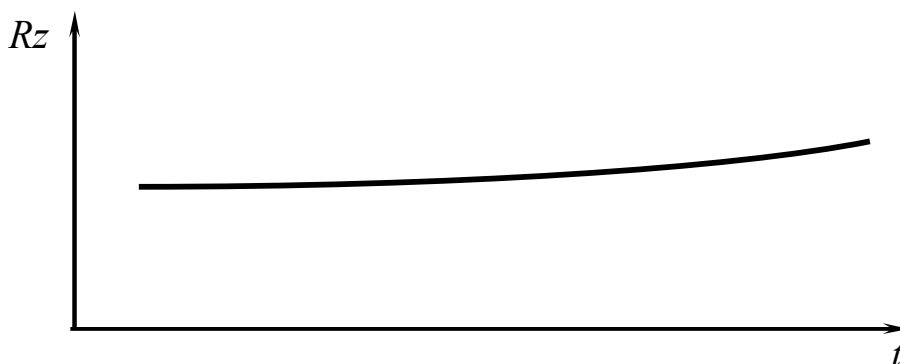


Рисунок 13 — Типова залежність параметра Rz від глибини різання

З підвищенням твердості й міцності оброблюваного матеріалу та зниженням його пластичності шорсткість зменшується внаслідок зниження середнього коефіцієнта тертя й інтенсивності процесів пластичного деформування та наростуотворення.

Зі зменшенням головного кута в плані φ , допоміжного φ_1 та зі збільшенням радіуса при вершині різця шорсткість зменшується. Величина переднього кута різця на шорсткість помітно не впливає.

Ступінь зміцнення (наклеп) металу поверхневого шару

Різання металів є складним процесом, який супроводжується низкою взаємопов'язаних явищ: пружного і пластичного деформування, інтенсивного тертя, виділення тепла, зношування інструмента, збільшення твердості і зміна структури як стружки, так і поверхневого шару обробленої заготовки.

Для того, щоб зрізати шар металу, необхідно його здеформувати аж до появи в ньому руйнівальних напружень. Таке деформування супроводжується подрібненням і витягуванням кристалічних зерен, виникненням міжкристалітних напружень і спотворень кристалічної решітки. При цьому збільшується межа міцності металу, твердість і крихкість, зменшуються пластичність і в'язкість. Таке деформаційне зміцнення поверхневого шару називають *наклепом* (**cold-work hardening**).

Деформаційне зміцнення поверхневого шару оцінюють такими показниками: глибиною наклепу h_H , ступенем наклепу u_H ,

$$u_H = \frac{H_H}{H_C},$$

де H_H і H_C — відповідно мікротвердості поверхні і серцевини, і розподілом наклепу по глибині поверхневого шару — градієнтом наклепу

$$u_{гр} = \frac{H_H - H_C}{h_H}.$$

Зміцнення (наклеп) металу поверхневого шару під час механічної обробки спричиняється дією сили різання і сили тертя інструмента об заготовку. Встановлено [11 та ін.], що ступінь і глибина наклепу зростають зі збільшенням сил різання і тертя та тривалості їх дії, тобто, зі збільшенням рівня пластичної деформації поверхневого шару.

Одночасно зі зміцненням в металі поверхневого шару може відбуватися відпочинок (знеміцнення), який повертає метал у його вихідний ненаклепаний стан. Відпочинок металу є процесом, який безпосередньо залежить від температури, що розвивається в зоні різання. За значної температури нагріву і тривалого теплового впливу відпочинок може повністю усунути зміцнення (наклеп) металу поверхневого шару.

Таким чином, під час механічної обробки в зоні різання одночасно діють сили різання і тертя, які спричиняють наклеп, а також нагрів металу, що зумовлює його знеміцнення. Кінцевий стан поверхневого шару залежить від співвідношення швидкостей перебігу процесів зміцнення і знеміцнення.

Ступінь і глибина поширення наклепу залежить від способу і режимів механічної обробки та геометрії різального інструмента. Вплив способів

обробки на ступінь і глибина наклепу для деяких способів обробки показаний у таблиці 1 [24].

Таблиця 1 — Вплив способів обробки на ступінь і глибину наклепу

Спосіб обробки	Ступінь наклепу ($u_n = \frac{H_n}{H_c} 100\%$)	Глибина наклепу, мкм
Точіння:		
чорнове і напівчистове	120 — 150	30 — 50
тонке	140 — 180	20 — 60
Фрезерування:		
торцеве	140 — 160	40 — 100
циліндричне	120 — 140	40 — 80
Свердління і зенкерування	160 — 170	180 — 200
Розвірчування	—	150 — 200
Шліфування сталевих заготовок:		
кругле:		
сталь незагартована	140 — 200	30 — 60
сталь загартована	125 — 130	20 — 40
плоске	150	16 — 33

Залишкові напруження в металі поверхневого шару

Встановлено, що під час механічної обробки у поверхневому шарі можуть виникати як залишкові напруження стиску, так і залишкові напруження розтягу. Згідно з [11], виникнення залишкових напружень в металі поверхневого шару в процесі механічної обробки пояснюється такими основними причинами.

1. Різальний інструмент, який знімає елементну стружку, витягує кристалічні зерна металу поверхневого шару, які при цьому піддаються пружному і пластичному деформуванню розтягу у напрямі різання. Тертя задньої поверхні різального інструмента по оброблюваній поверхні також сприяє розтягуванню кристалічних зерен металу поверхневого шару. З припиненням різання в пластично розтягнутих верхніх шарах металу, зв'язаних як одне ціле з шарами, що розташовані нижче, виникають напруження стиску. Відповідно, в глибших шарах з'являються зрівноважувальні напруження розтягу.

2. Якщо обробляються пластичні метали з утворенням зливної стружки, то після пластичного витягування кристалічних зерен металу поверхневого шару у напрямі швидкості різання відбувається їх додаткове витягування під впливом зв'язаної з оброблюваною поверхнею стружки у напрямку її сходження. У цьому випадку може відбутися повне переформування крист-

талічних зерен поверхневого шару з утворенням у напрямках швидкості різання і подачі залишкових напружень розтягу.

3. Теплота, що виділяється в зоні різання, за недостатнього охолодження може миттєво нагрівати тонкі поверхневі шари металу до високих температур, що збільшує його питомий об'єм. Але в нагрітому шарі не виникає внутрішніх напружень через те, що пружність металу зменшується, а пластичність збільшується. Після припинення процесу різання відбувається швидке остигання металу поверхневого шару, яке спричиняє його стиснення (усадку). Цьому протидіє холодніший шар металу, що розташований глибше. В результаті у поверхневому шарі виникають залишкові напруження розтягу, а глибших шарах — залишкові напруження стиску.

4. Довідні (фінішні) операції абразивної обробки (суперфініш, полірування, хонінгування) супроводжуються помітним пластичним деформуванням металу поверхневого шару за відносно невисоких температур. Це сприяє утворенню в поверхневому шарі залишкових напружень стиску.

2.3 Вплив показників якості поверхневого шару на експлуатаційні властивості деталей машин

Розглянемо вплив таких показників якості поверхневого шару, як шорсткість, ступінь зміцнення (наклеп), величина і знак залишкових напружень на *експлуатаційні властивості деталей машин (operational characteristics of machine parts)*.

Вплив шорсткості на експлуатаційні властивості деталей машин

Типова характеристика зносу поверхні деталі під час експлуатації за умови її роботи в парі сухого або напівсухого тертя показана на рис. 14.

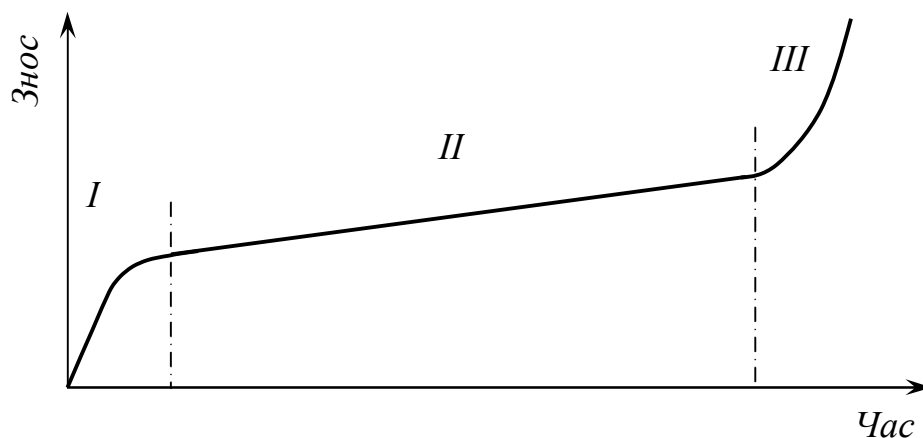


Рисунок 14 — Типова характеристика зносу поверхні деталі за умови її роботи в парі сухого або напівсухого тертя:

I — первинний знос (припрацювання); *II* — нормальний експлуатаційний знос; *III* — катастрофічний знос

Дослідженнями процесів тертя та зношування [7 та ін.] встановлено, що шорсткість поверхні деталі, отримана під час її виготовлення $Rz_{\text{поч}}$ (початкова шорсткість), впливає лише на первинний знос. Типова залежність впливу початкової шорсткості на величину первинного зносу показана на рис. 15. З графіка випливає, що найменший первинний знос забезпечуватиметься за певної (оптимальної) початкової шорсткості Rz_0 .

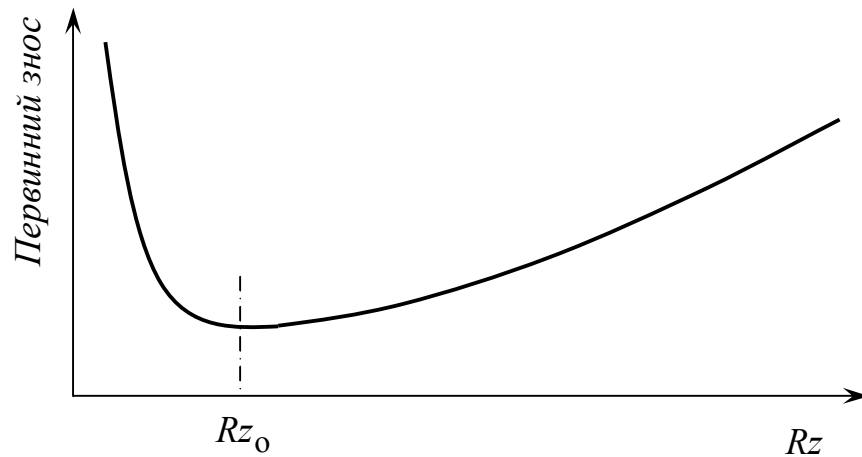


Рисунок 15 — Типова залежність впливу початкової шорсткості на величину первинного зносу

Встановлено також, що для кожної з можливих сукупностей матеріалів пар тертя та експлуатаційних факторів (величина і характер навантаження, характеристики мастила, температурний режим тощо) після закінчення процесу припрацьовування на робочих поверхнях деталей утворюється так звана *рівноважна шорсткість (equilibrium roughness)*, яка залишається сталою протягом усієї подальшої експлуатації. Рівноважна шорсткість не залежить від початкової шорсткості. Це демонструють результати дослідження [7] процесу припрацьовування шийок валиків з різною початковою шорсткістю (рис. 16).

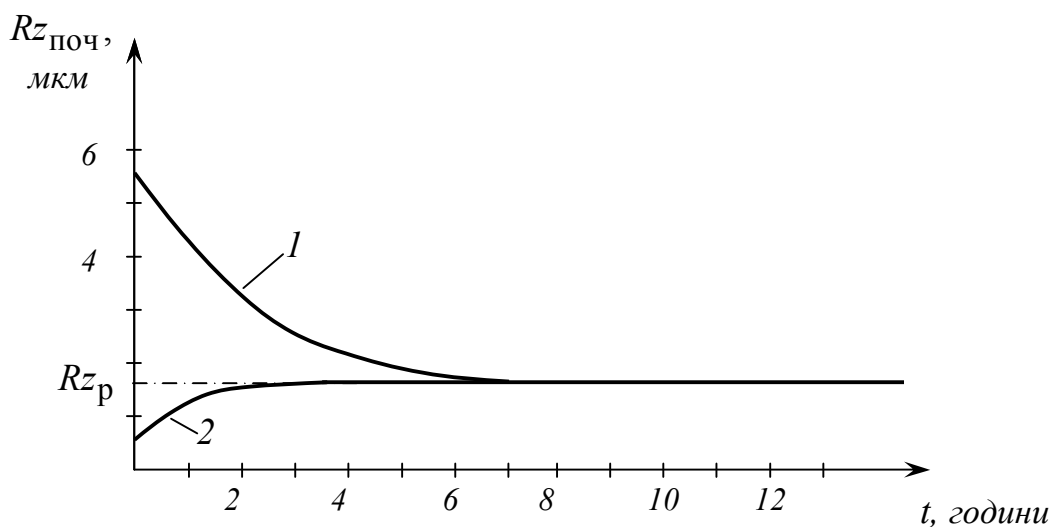


Рисунок 16 — Змінення шорсткості шийок валиків з різною початковою шорсткістю в процесі припрацьовування
 $1 — Rz_{\text{поч}} = 5,4 \text{ мкм}; 2 — Rz_{\text{поч}} = 0,5 \text{ мкм}$

Важливим є той факт, що для будь-яких пар тертя оптимальна початкова шорсткість Rz_0 за величиною є близькою до рівноважної шорсткості Rz_p . З цього можна зробити висновок, що для забезпечення мінімальності первинного зносу в парах тертя слід на останніх операціях механічної обробки забезпечувати шорсткість, близьку до рівноважної. Формули для визначення Rz_p є, наприклад, в [7].

В роботі [14] є наближені формули для призначення шорсткості поверхонь деталей машин, які утворюють пари тертя, та інших відповідальних поверхонь:

якщо діаметр сполучення (поверхні) перевищує 50 мм, то

$$Rz = (0,10 \dots 0,15)T ;$$

якщо діаметр сполучення (поверхні) від 18 до 50 мм, то

$$Rz = (0,15 \dots 0,20)T ;$$

якщо діаметр сполучення (поверхні) менше 18 мм, то

$$Rz = (0,20 \dots 0,25)T .$$

У цих формулах поле допуску T відповідної поверхні деталі і висота мікронерівностей Rz — в мікрометрах.

Утомна міцність (fatigue strength) деталей залежить від шорсткості їх поверхонь. Наявність на поверхні деталі, яка працює в режимі циклічного і знакозмінного навантаження, окремих дефектів і нерівностей сприяє появі концентраторів напружень. У цьому випадку поверхневі дефекти і ризики від різального інструмента відіграють роль осередків виникнення субмікроскопічних порушень суцільності металу поверхневого шару та його розпушування. Це є основною причиною появи утомних тріщин.

Вплив зміцнення (наклеп) металу поверхневого шару на експлуатаційні властивості деталей машин

Збільшуючи міцність поверхневого шару, наклеп суттєво зменшує знос в кінематичних парах, які працюють в режимах сухого, граничного, напів-сухого і напіврідинного тертя, тобто тоді, коли існує безпосередній контакт між поверхнями, що труться. В режимах рідинного тертя наклеп не впливає на знос деталей.

Наклеп суттєво збільшує утомну міцність (межу витривалості), запобігаючи утворенню утомних тріщин в поверхневому шарі. За наявності наклепу поверхневого шару утомні тріщини можуть виникати в глибині деталі, але для цього потрібні більш високі напруження.

Наклеп зменшує *корозійну стійкість (corrosion resistance)* металу поверхневого шару, оскільки пластична деформація кристалічних зерен призводить до утворення значної кількості корозійних мікроелементів.

Вплив залишкових напружень в металі поверхневого шару на експлуатаційні властивості деталей машин

Згідно з [11 та ін.] величина і знак залишкових напружень в металі поверхневого шару не впливають на *знос* деталей. Це пояснюється тим, що в процесах сухого, напівсухого і напіврідинного тертя відбувається інтенсивне пластичне деформування металу поверхневого шару. Це деформування повністю усуває залишкові напруження розтягу, якщо вони були в поверхневому шарі, і формує в ньому залишкові напруження стиску.

Встановлено [11 та ін.], що залишкові напруження помітно впливають на утомну міцність деталей. За наявності в поверхневому шарі залишкових напружень стиску межа витривалості деталі підвищується, а за наявності залишкових напружень розтягу — зменшується. Залишкові напруження стиску більшою мірою підвищують межу витривалості, ніж знижують його такі ж за величиною залишкові напруження розтягу.

2.4 Питання для самоконтролю

1. Поняття поверхневого шару деталей та його структура.
2. Як впливає спосіб обробки на глибину поверхневого шару?
3. Якими показниками оцінюється якість поверхневого шару?
4. Що розуміється під шорсткістю поверхні?
5. Якими параметрами характеризується шорсткість поверхні?
6. Від яких факторів залежить шорсткість поверхні?
7. Поясніть характер впливу швидкості різання, глибини різання, подачі на шорсткість поверхні.
8. Як впливають на шорсткість поверхні фізико-механічні властивості матеріалу заготовки?
9. Поясніть характер впливу технологічних факторів на величину та знак залишкових напружень в поверхневому шарі.
10. Поясніть характер впливу технологічних факторів на ступінь деформаційного зміцнення (наклепу).
11. Поясніть характер впливу шорсткості поверхні на експлуатаційні властивості деталей машин. Що таке рівноважна шорсткість?
12. Поясніть характер впливу величини і знака залишкових напружень в поверхневому шарі на експлуатаційні властивості деталей машин.
13. Поясніть характер впливу деформаційного зміцнення (наклепу) поверхневого шару на експлуатаційні властивості деталей машин.

Література — [11, С. 193—248], [12, С. 152—225].

Розділ 3 ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН

3.1 Види технологічних процесів

В залежності від умов виробництва і призначення технологічного процесу використовуються декілька їх видів (ГОСТ 3.1109—82). Схема класифікації технологічних процесів показана на рис. 17.

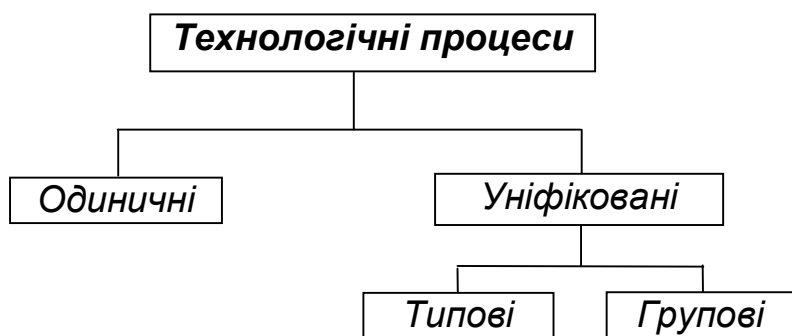


Рисунок 17 — Класифікація технологічних процесів згідно з ГОСТ 3.1109—82

Одиничний технологічний процес (single manufacturing process) — це технологічний процес виготовлення чи ремонту виробу одного найменування, типорозміру і виконання незалежно від типу виробництва.

Одиничні технологічні процеси розробляються і використовуються в усіх типах виробництва для виготовлення виробів (деталей, складальних одиниць), які не мають спільних конструктивних і технологічних ознак з іншими виробами, що виготовляються деяким підприємством.

Уніфікований технологічний процес (unified manufacturing process) — це технологічний процес, у відповідності з яким виготовляють або ремонтують групу виробів, що характеризуються спільними ознаками. Уніфіковані технологічні процеси поділяють на типові і групові.

Типовий технологічний процес (standard manufacturing process) — це технологічний процес виготовлення групи виробів зі спільними конструктивними і технологічними ознаками.

Ідея типізації технологічних процесів запропонована ще в кінці тридцятих років минулого століття проф. А. П. Соколовським. Першим етапом типізації технологічних процесів є класифікація деталей машин. Деталі можна розбити на класи за ознаками спільності технологічних задач, що виникають під час їхнього виготовлення: вали, втулки, диски, ексцентричні деталі (наприклад, колінчасті вали), хрестовини, важелі, плити, стояки, кутники, бабки, зубчасті колеса, фасонні кулачки, ходові гвинти і черв'яки, дрібні кріпильні деталі. Кожний клас розбивається на групи, підгрупи і ти-

пи. Тип складає сукупність деталей, яка має спільний маршрут механічної обробки, що реалізується на однорідному обладнанні із застосуванням однотипних верстатних пристроїв та різальних інструментів.

Типові технологічні процеси найчастіше розробляються і використовуються в середньо- і крупносерійному виробництві для виготовлення виробів, які подібні за конструкцією, але мають ряд типорозмірів. До таких виробів можна віднести, наприклад, стандартизовані різальні інструменти (спіральні свердла, зенкери, розвертки, шпонкові і дискові фрези, різці тощо), деталі електродвигунів, гідроагрегатів (насосів, гідромоторів, гідроциліндрів, гідроклапанів тощо) та ін.

З розвитком машинобудівних технологій типові технологічні процеси мають періодично вдосконалюватися.

Груповий технологічний процес (group manufacturing process) — це технологічний процес виготовлення виробів з різними конструктивними, але спільними технологічними ознаками.

Згідно з цим означенням груповий технологічний процес — це процес обробки заготовок різної форми, який складається із сукупності групових технологічних операцій. Такі операції виконуються на спеціалізованих робочих місцях.

Під *спеціалізованим робочим місцем (specialized workplace)* розуміють робоче місце, на якому здійснюють технологічні операції виготовлення або ремонту виробу чи групи виробів з використанням заздалегідь скомплектованих одиниць технологічного обладнання та оснащення (верстата; різального, допоміжного, контрольно-вимірювального інструменту; верстатних пристроїв тощо) протягом тривалого інтервалу часу.

Групова технологічна операція (group manufacturing operation) характеризується спільністю використовуваного обладнання і технологічного оснащення, яке дозволяє виконувати швидке переналагоджування при переході до обробки наступної партії деталей групи. Тому групові технологічні операції і, відповідно, групові технологічні процеси досить просто реалізуються з використанням верстатів з ЧПК.

Література — [11, С. 292—295].

3.2 Мета і основні етапи проектування технологічних процесів механічної обробки. Вихідна інформація для проектування

Технологічні процеси механічної обробки (machining process) розробляють у таких випадках:

- під час проектування нових або модернізації наявних виробничих структур;
- під час запуску у виробництво нових виробів на діючих підприємствах.

Метою проектування технологічного процесу є забезпечення:

- проектної якості виробів;
- якомога меншої їх собівартості;
- запланованого обсягу випуску.

Технологічний процес механічної обробки зазвичай розробляється у такій послідовності.

1. Формування і аналіз вихідних даних.
2. Аналіз конструкції і технологічності деталі.
3. Вибір способу виготовлення вихідної заготовки і попереднє її проектування.
4. Вибір способів і визначення кількості ступенів (переходів) обробки поверхонь.
5. Вибір технологічних баз.
6. Розробка маршруту механічної обробки. Попередній вибір метало-різальних верстатів.
7. Порівняння маршрутів механічної обробки та вибір кращого з них за мінімумом зведених витрат.
8. Визначення припусків на механічну обробку.
9. Визначення технологічних розмірів обробки циліндричних поверхонь.
10. Розмірний аналіз технологічних процесів.
11. Проектування технологічних операцій:
 - призначення режимів різання;
 - визначення технічних норм часу.
12. Визначення необхідної для виконання кожної з операцій кількості верстатів та їх завантаження і (за необхідності) корекція вибору верстатів.
13. Оформлення технологічної документації.

*Вихідну інформацію (**initial information**) для проектування технологічних процесів механічної обробки поділяють на:*

- базову;
- керувальну;
- довідкову.

*Базова інформація (**basic information**) містить:*

- креслення деталі;
- складальне креслення виробу або вузла;
- річну (місячну) програму випуску деталі;
- тривалість виготовлення деталі.

*До керувальної інформації (**control information**) входять:*

- вимоги галузевих і державних стандартів до технологічних процесів;
- комплекти технологічної документації на наявні типові технологічні процеси виготовлення подібних деталей;

- виробничі інструкції;
- керівні матеріали з безпеки життєдіяльності та промислової санітарії.

Довідкова інформація (reference information) охоплює:

- технічну і наукову літературу;
- каталоги і паспорти обладнання, довідкову літературу.

В залежності від умов, згідно з якими проектується технологічний процес, потреба в інформації може бути різною.

Для проектування технологічних процесів на діючих підприємствах необхідно мати якомога повнішу інформацію щодо наявності обладнання, технологічного оснащення, виробничих площ та інших місцевих умов.

Література — [21, С. 32—34].

3.3 Аналіз технологічності конструкції деталі

У відповідності з ГОСТ 14.301—83 технологічні процеси розробляються для виготовлення виробів, конструкція яких є технологічною.

Робота із забезпечення технологічності конструкції виробу має спрямовуватись на підвищення продуктивності праці, скорочення часу і матеріальних затрат на проектування технологічного процесу, технологічну підготовку виробництва, виготовлення, технічне обслуговування і ремонт виробу із забезпеченням необхідної його якості (ГОСТ 14.201—73).

Виріб (машина, складальна одиниця, деталь) вважається технологічним, якщо в умовах певного підприємства і прийнятого типу виробництва його конструкція забезпечує найменшу технологічну собівартість.

Технологічність машинобудівного виробу (manufacturability of an engineering product) має забезпечуватись під час його розробки, тобто інженерами-конструкторами.

Таким чином, розробка конструкції кожної з деталей повинна виконуватись тільки із забезпеченням їх технологічності. Для цього слід керуватись такими правилами.

1. На основі складального креслення виробу чи складальної одиниці аналізують службове призначення деталі, встановлюють функціональне призначення поверхонь, тобто виявляють конструкторські бази (основні і допоміжні), кріпильні і вільні поверхні та у відповідності з цим призначають показники її точності.

2. Передбачені кресленням деталі вимоги до точності повинні строго узгоджуватись з її службовим призначенням. Необґрунтовано завищені вимоги до точності потребують додаткових операцій, подовжують цикл обробки, збільшуючи трудомісткість і собівартість деталі.

3. Якщо деталь має як оброблені, так і необроблені поверхні (рис. 18), то розміри на кресленні деталі проставляють таким чином. Спочатку сіткою розмірів з'єднують всі необроблені поверхні, потім сіткою

розмірів з'єднують всі оброблені поверхні. Потім щонайбільше трьома розмірами (відповідно у напрямі осей X , Y і Z , рис. 18) ці сітки розмірів з'єднують між собою.

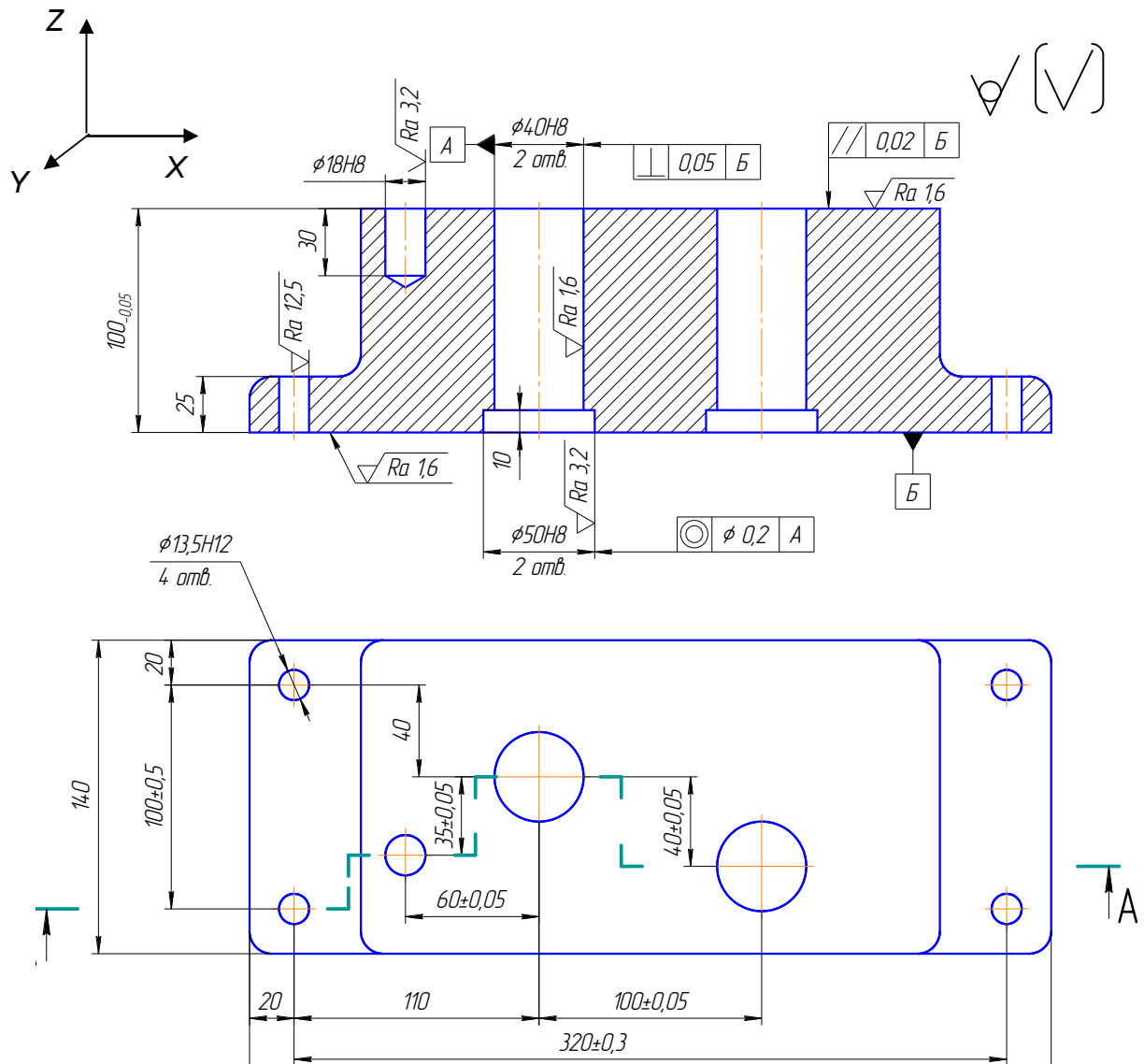


Рисунок 18 — Розтушування розмірів на кресленні деталі, яка має оброблені та необроблені поверхні (вихідна заготовка — вилівок)

4. Конфігурація деталі має бути якомога простішою і дозволяти застосовувати високопродуктивні способи обробки.

5. В конструкції деталі слід уникати нетехнологічних елементів (довгих тонких отворів, глухих різьбових отворів, отворів, які спрягаються з площинами під кутом, відмінним від 90° , тощо). Рекомендації щодо технологічності конструктивних елементів деталей і складальних одиниць є, наприклад, в [2].

6. Матеріал деталі має бути за можливістю легкооброблюваним.

Для забезпечення технологічності виробів в структурі конструкторських бюро є підрозділи, які здійснюють технологічний контроль конструкторських документів. Зауваження технологічного контролю щодо змін в кресленнях, виконаних з порушеннями чинних стандартів і керівних матеріалів, є обов'язковими для врахування в конструкторських документах. Таким чином, комплект конструкторської документації надходить в технологічний відділ підприємства-виробника тільки за наявності усіх підписів в основному написі, у тому числі підпису особи, яка відповідальна за технологічний контроль.

Конструкторські документи надходять до технологів основного виробництва як обов'язкові для виконання. Разом з тим, технолог зобов'язаний перед проектуванням технологічного процесу провести ретельний аналіз цих документів щодо технологічності виготовлення в конкретних умовах даного підприємства або цеху. Якщо виявиться, що виріб за однією, або за декількома ознаками є нетехнологічним, то за узгодженням з розробником в конструкцію виробу можуть бути внесені відповідні зміни, які забезпечать його технологічність, але не погіршать якість виконанням ним свого службового призначення. Виправлення і зміни вносять в конструкторську документацію відповідно до ГОСТ 2.503—90.

Технолог основного виробництва зазвичай виконує аналіз технологічності деталі у такій послідовності.

1. Перевіряє наявність і правильність розташування всіх необхідних розмірів.

2. Встановлює можливість застосування високопродуктивних способів обробки.

3. Аналізує щодо технологічності всі конструктивні елементи деталі. Виявляє важкодоступні для обробки місця.

4. Визначає можливість суміщення технологічних і конструкторських баз для забезпечення розмірів, що мають жорсткі допуски.

5. Визначає можливість безпосереднього вимірювання заданих на кресленні деталі розмірів.

6. Визначає поверхні, які можуть бути використані для базування.

7. Аналізує необхідність введення в конструкцію деталі штучних технологічних баз.

8. Аналізує наявність в конструкції деталі, що підлягає термічній обробці, конструктивних елементів, що зменшують жолоблення деталі в процесі нагрівання та охолодження, і визначає, чи раціонально вибраний матеріал з урахуванням термічної обробки.

Література — [1, С. 419—429]; [3, С. 12, 13]; [12, С. 307—312]; [18, С. 160—168]; [19, С. 60—68].

3.4 Вибір вихідної заготовки

Однією з головних задач, які розв'язуються під час проектування технологічного процесу виготовлення деталі, є вибір *вихідної заготовки (initial workpiece)*.

Ця задача має бути розв'язана технологом на самому початку проектування технологічного процесу з урахуванням таких факторів:

- вид і марка матеріалу деталі;
- форма і розміри деталі;
- тип виробництва.

Вибір вихідної заготовки означає встановлення способу її виготовлення, призначення припусків на обробку, визначення всіх розмірів та їх допусків.

Метою вибору вихідної заготовки є забезпечення мінімально можливої собівартості виготовлення деталі.

Найпоширенішими способами формоутворення під час виготовлення заготовок деталей машин є лиття, гаряче і холодне об'ємне пластичне деформування, прокатування, формування методами порошкової металургії.

Сутність і технологічні особливості способів виготовлення заготовок деталей машин детально розглядаються в дисципліні «Проектування та виробництво заготовок деталей машин». В цій же дисципліні розглядається наближена методика визначення собівартостей заготовок, отриманих різними способами.

Вартість заготовки — це економічний показник, який впливає на собівартість виготовлення деталі і виробу. Якщо можливі різні варіанти виготовлення заготовки, то рішення відносно вибору виду заготовки можна прийняти лише після розрахунку їх вартості. Перевагу потрібно надавати тій заготовці, яка має меншу вартість. Якщо ж варіанти, що порівнюються, за вартістю виявляються рівноцінними, то перевагу потрібно віддавати заготовці з більш високими коефіцієнтами використання матеріалу та вагової точності.

Крім того, потрібно врахувати обсяг подальшої механічної обробки та її вартість. Тобто, остаточне рішення повинно в комплексі врахувати всі показники: вартість заготовки, коефіцієнт використання матеріалу та вартість виконання тих операцій механічної обробки, які відрізняються в технологічних процесах механічної обробки внаслідок вибору різних варіантів виготовлення заготовки. Якщо ж для різних варіантів виготовлення заготовки технологічні процеси механічної обробки однакові, то порівняння і вибір спрощуються та виконуються лише за першими двома показниками (собівартість заготовки та коефіцієнт використання матеріалу).

Література — [21, С. 68—80].

3.5 Вибір способів і кількості ступенів (переходів) обробки поверхонь

На цьому етапі проектування технологічного процесу здійснюється пошук раціональних рішень щодо вибору способів механічної обробки, за допомогою яких забезпечуватимуться всі вимоги точності до поверхонь деталі, а також визначається необхідна і достатня кількість ступенів обробки кожної з поверхонь.

Вибираючи способи механічної обробки, перш за все потрібно уважно проаналізувати вимоги точності до кожної з поверхонь деталі. При цьому слід враховувати такі фактори:

- показники шорсткості поверхонь;
- показники відхилень від правильної форми (допустимі відхилення від: прямолінійності, площинності, круглості, циліндричності тощо);
- показники точності відносного розташування поверхонь або їх осей (допустимі відхилення від паралельності, перпендикулярності, співвісності, перетину осей, допустиме радіальне і торцеве биття тощо);
- показники точності розмірів циліндричних поверхонь і розмірів між поверхнями або їх осями.

Вибір способу обробки суттєво залежить також від:

- типу виробництва;
- габаритних розмірів і форми деталі;
- розмірів і форми оброблюваної поверхні;
- матеріалу заготовки;
- твердості матеріалу заготовки в зоні обробки безпосередньо перед її початком та інших факторів.

Розробляючи маршрут обробки кожної з поверхонь, виходять з того, що кожний з наступних ступенів обробки має бути точнішим за попередній.

Вибираючи способи як остаточної, так і попередньої обробки певної поверхні, необхідно враховувати всі вимоги точності до цієї поверхні. Досить часто буває, що частина показників точності забезпечується на передостанньому ступені обробки, а решта — на останньому. Наприклад, точність відносного розташування головного отвору в корпусній деталі може забезпечуватись на передостанній обробці — чистовому розточуванні, а точність діаметрального розміру, вимоги циліндричності і шорсткості — на останній (хонінгуванні чи тонкому розвірчуванні).

Далі визначається кількість ступенів (переходів) механічної обробки для отримання найточнішої циліндричної поверхні. Для цього використовується поняття уточнення. Уточнення, яке забезпечується на i -му технологічному переході, складає

$$\varepsilon_i = \frac{T_{i-1}}{T_i},$$

де T_{i-1} і T_i — відповідно допуски, забезпечувані на попередньому і даному переходах.

Згідно з [10], загальне уточнення ε_{Σ} дорівнює добутку проміжних уточнень.

Розподіляючи загальне уточнення на співмножники (проміжні уточнення), слід враховувати такі рекомендації:

- для першого переходу чорнової обробки $\varepsilon \leq 6$;
- для проміжних переходів напівчистої обробки $\varepsilon = 3 \dots 4$;
- для чистої обробки з допусками точності $IT8$ — $IT10$ $\varepsilon = 2 \dots 2,5$;
- для фінішної обробки з допусками точності $IT5$ — $IT7$ $\varepsilon = 1,5 \dots 2$.

Після цього потрібно визначити допуски і відповідні їм квалітети точності, що мають бути забезпечені під час виконання проміжних переходів обробки цієї поверхні.

Далі, з урахуванням знайденої кількості ступенів обробки найточнішої циліндричної поверхні, вибирають (якісно) кількості ступенів і квалітети точності проміжної обробки інших циліндричних поверхонь підвищеної точності.

Розглянемо приклад

Потрібно визначити кількість ступенів (переходів) обробки отвору в деталі типу «корпус», а також вибрати способи обробки.

Вихідні дані

1. Отвір $\text{Ø}50\text{H}8$ обробляється попередньо і остаточно на одній операції з одного установа. Ескіз із технічними вимогами показаний на рис. 19.

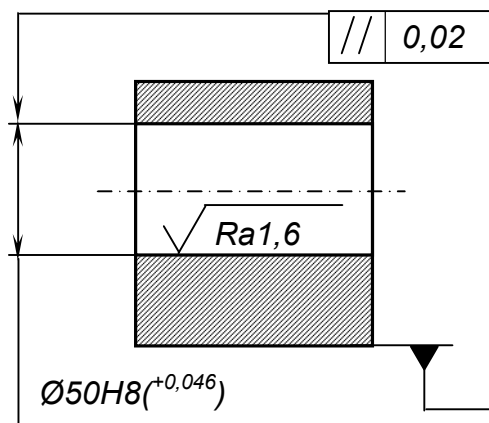


Рисунок 19 — Ескіз до прикладу визначення кількості ступенів обробки

2. Заготовка — вилівок в оболонковій формі 9-го класу точності.
3. Допуск діаметрального розміру отвору у вихідній заготовці складає 2,0 мм.

Визначимо загальне уточнення

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{T_{\text{заг}}}{T_{\text{дет}}} = \frac{2000}{46} \approx 44.$$

Припустимо, що таке уточнення може бути досягнуто за три переходи механічної обробки. Прийmemo: $\varepsilon_1 = 5$; $\varepsilon_2 = 4$.

Знайдемо уточнення, яке має бути забезпечене на третьому (останньому) переході

$$\varepsilon_3 = \frac{\varepsilon_{\Sigma}}{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2} = \frac{44}{5 \cdot 4} = 2,2.$$

Визначимо розрахункові значення допусків технологічних розмірів

$$T_1 = \frac{T_{\text{заг}}}{\varepsilon_1} = \frac{2000}{5} = 400 \text{ мкм};$$

$$T_2 = \frac{T_1}{\varepsilon_2} = \frac{400}{4} = 100 \text{ мкм};$$

$$T_3 = T_{\text{дет}} = \frac{T_2}{\varepsilon_3} = \frac{100}{2,2} = 46 \text{ мкм (IT8)}.$$

Отримані розрахункові значення допусків технологічних розмірів, що мають бути забезпечені на першому і другому переходах, змінимо до найближчих нормативних значень. Таким чином, прийmemo остаточно: $T_1 = 460 \text{ мкм (IT13)}$; $T_2 = 120 \text{ мкм (IT10)}$.

Виберемо способи механічної обробки отвору. З урахуванням необхідності забезпечення жорсткої вимоги паралельності осі отвору відносно площини (0,02 мм) вибираємо як спосіб механічної обробки для усіх трьох переходів розточування (чорнове, чистове і тонке). Тонке розточування забезпечує як необхідну точність діаметрального розміру (IT8), так і вимоги до шорсткості поверхні (Ra 1,6).

Література — [10, С. 50—54]; [21, С. 82—89].

3.6 Вибір технологічних баз

Одним з найвідповідальніших етапів проектування технологічних процесів механічної обробки деталі є вибір *технологічних баз (processing datum surfaces)* для кожної з операцій. Від того, наскільки вдало вибрані технологічні бази, залежить точність виконання розмірів, заданих конструктором, правильність розміщення оброблюваних поверхонь, складність верстатних пристроїв, загальна продуктивність обробки. Основні положення теорії базування щодо термінології і класифікації унормовуються в [27].

Початковими даними для вибору технологічних баз є креслення деталі та попередньо розроблений маршрут її механічної обробки.

Перед вибором баз для конкретної операції необхідно чітко сформулювати задачі, які повинні бути розв'язані в результаті її виконання.

Під час вибору технологічних баз слід враховувати, що за будь-якої схеми базування похибка базування не впливає на:

- показники точності форми поверхонь (вимоги площинності, циліндричності, круглості тощо);
- показники шорсткості поверхні;
- точність діаметральних розмірів;
- точність розмірів (як лінійних, так і кутових) між поверхнями, за умови, що ці поверхні обробляються з одного установа.

Вибираючи комплект баз для операцій механічної обробки, слід намагатися забезпечувати суміщення технологічних і вимірювальних баз, тобто, виконувати *принцип суміщення баз* (**the principle of overlapping datum surfaces**) з урахуванням таких рекомендацій:

- якщо вимірювальною базою є площина, довжина і ширина якої є близькими до габаритних розмірів деталі, то ця площина може використовуватись як технологічна установна база;
- якщо за вимірювальну базу вибрана довга і вузька площина, то ця площина може використовуватись як технологічна напрямна база;
- якщо за вимірювальну базу вибрана вісь довгої циліндричної поверхні ($l \geq d$), то ця поверхня або її вісь може використовуватись як технологічна подвійна напрямна база;
- якщо за вимірювальну базу вибрана вісь короткої циліндричної поверхні ($l < d$), то ця поверхня або її вісь може використовуватись як технологічна подвійна опорна база.

Зазвичай вимірювальними базами щодо вимог відносного розташування є конструкторські бази деталі. Якщо на першій операції ці поверхні обробити, то на наступних операціях можна суміщати технологічні, вимірювальні і конструкторські бази. У цьому випадку забезпечується найвища точність обробки.

У машинобудуванні використовують такі комплекти технологічних баз:

- установна — напрямна — опорна (приклад — рис. 20);
- установна — подвійна опорна — опорна (приклад — рис. 21);
- подвійна напрямна — опорна — опорна (приклад — рис. 22).

Як впливає з рисунків 20—22, за характером виявлення установні бази завжди є явними базами, а інші бази мажуть бути як явними, так і прихованими.

За відсутності у заготовки поверхонь, які б могли використовуватись для зручного і надійного базування, можна створити так звані *штучні технологічні бази* (**artificial datum surfaces**). Для цього в конструкції заготовки передбачають відповідні бобишки, приливи, центрові отвори тощо. Як штучні технологічні бази розглядаються також кріпильні отвори, якщо для

мінімізації похибки базування спеціально підвищують точність їх діаметральних розмірів.

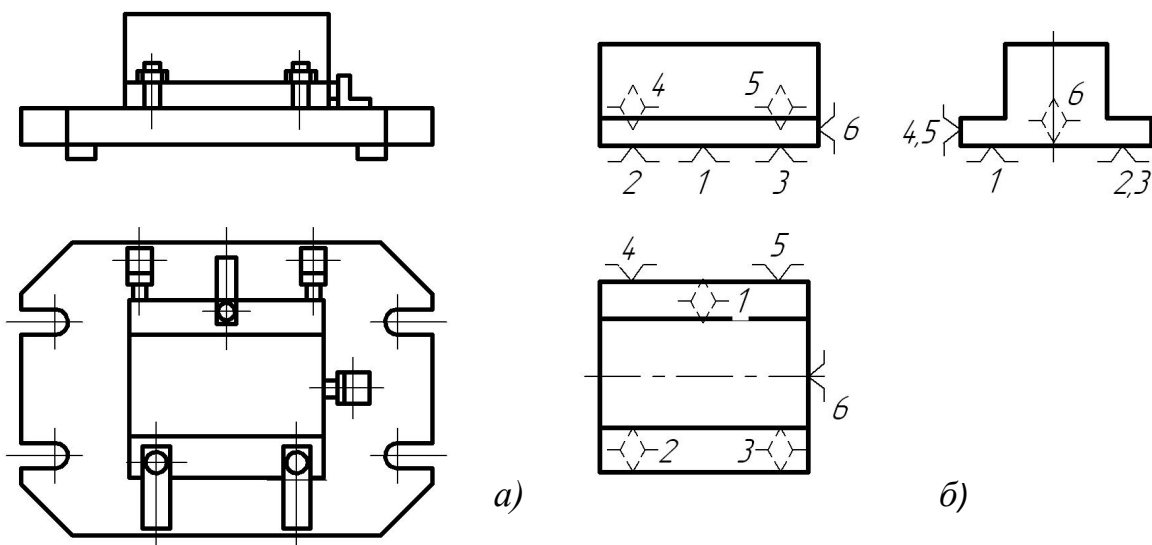


Рисунок 20 — Приклад способу установлення (а) та схеми базування (б), які відповідають використанню комплекту технологічних явних баз: установної, напрямної та опорної

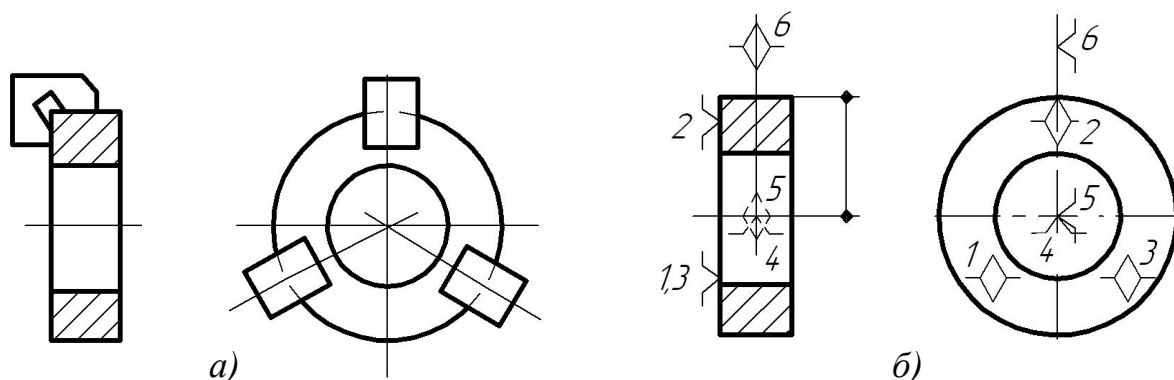


Рисунок 21 — Приклад способу установлення (а) та схеми базування (б), які відповідають використанню комплекту технологічних баз: установної явної, подвійної опорної та опорної прихованих

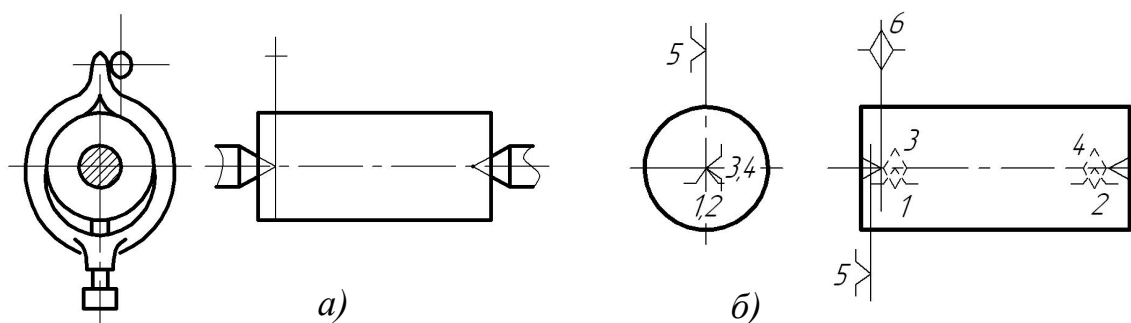


Рисунок 22 — Приклад способу установлення (а) та схеми базування (б), які відповідають використанню комплекту технологічних прихованих баз: подвійної напрямної та двох опорних

Вибір чистових технологічних баз

Чистові технологічні бази (**finishing datum surfaces**) — це оброблені поверхні, які використовуються для базування заготовки деталі на операціях, що слідують за першою операцією. Таким чином, чистові технологічні бази мають бути утворені на першій операції. Зазвичай їх обробляють з одного установа. Якщо дозволяє конфігурація заготовки, то разом з утворенням чистових технологічних баз на першій же операції може здійснюватись як попередня, так і остаточна обробка інших поверхонь.

Основною задачею вибору чистових технологічних баз є мінімізації похибки базування.

Якщо дозволяє форма деталі, то на всіх основних операціях (окрім першої) слід намагатись використовувати один і той же комплект чистових технологічних баз, тобто дотримуватись *принципу постійності баз* (**the principle of constantly datum surfaces**). Наприклад, під час виготовлення корпусної деталі за комплект чистових технологічних баз найчастіше використовують оброблені на першій операції площину і два отвори; заготовку деталі типу «ступінчастий вал» найчастіше обробляють з установами на більшості операцій на центрові отвори і т. п.

Дотримання принципу постійності баз забезпечує мінімальність похибки базування. Для того, щоб переконатись у цьому, розглянемо *приклад*.

Припустимо, що в заготовці плоскої корпусної деталі (рис. 23, а) потрібно обробити два отвори 1 і 2, забезпечивши між їхніми осями розмір $60 \pm 0,1$ мм. Припустимо, що спочатку на одній з операцій обробляється отвір 1, а на наступній операції — отвір 2. Розглянемо два можливих варіанти вибору схем базування на цих операціях. Перший варіант передбачає використання одного і того ж комплекту баз для обох операцій (рис. 23, б і рис. 23, в), а другий виконується зі зміною баз на операції обробки отвору 2 (рис. 23, г). Побудувавши відповідні технологічні розмірні ланцюги, знайдемо похибку базування на розмір $60 \pm 0,1$ мм для обох варіантів.

Згідно з рис. 23, в похибка базування на розмір $60 \pm 0,1$ мм за умови виконання принципу постійності баз складе

$$\varepsilon_{\bar{60}} = T(C) + T(A_{80}) = 0 + 0,1 = 0,1 \text{ мм.}$$

Якщо на операції обробки отвору 2 допустити зміну баз, (рис. 23, г), то похибка базування на розмір $60 \pm 0,1$ мм складатиме

$$\varepsilon_{\bar{60}} = T(C) + T(A_{80}) + T(A_{120}) = 0 + 0,1 + 0,5 = 0,6 \text{ мм.}$$

Очевидно, що невиконання принципу постійності баз збільшує похибку базування.

Література — [1, С. 192—207], [11, С. 180—192], (С. 89—101) [21], (С. 27—35) [27].

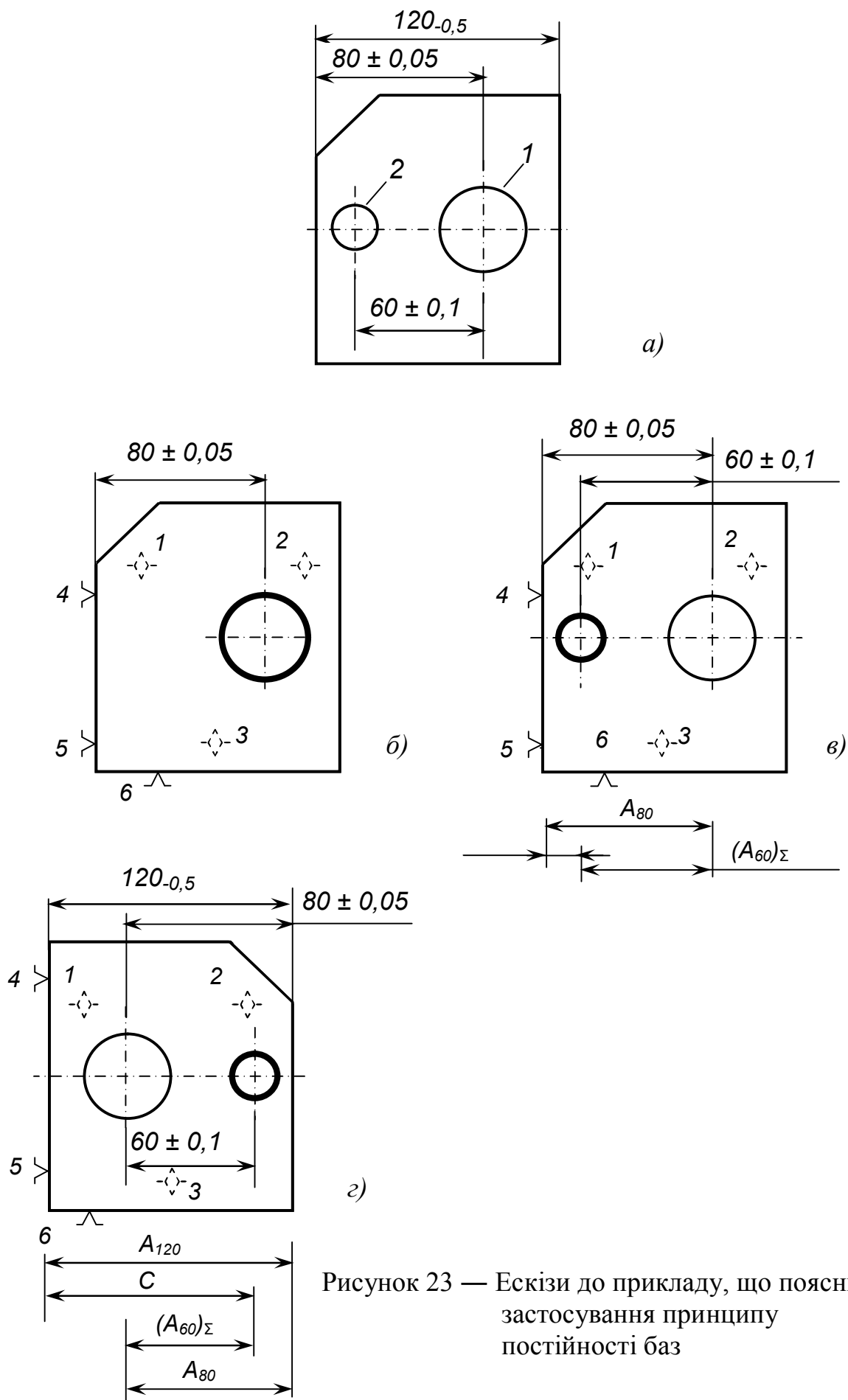


Рисунок 23 — Ескізи до прикладу, що пояснює застосування принципу постійності баз

Вибір чорнових технологічних баз

Чорнові технологічні бази (**rough datum surfaces**) — це поверхні вихідної заготовки, які використовуються для базування на першій операції (зрідка — на першій і другій операціях) для обробки чистових баз.

Під час вибору чорнових технологічних баз може розв'язуватися одна з двох задач:

- забезпечення розмірного зв'язку між обробленими поверхнями деталі і необробленими її поверхнями (перша задача);

- забезпечення зняття мінімального рівномірного припуску з певної поверхні на першому переході її механічної обробки (друга задача).

Розв'язувати першу задачу доводиться, наприклад, у випадках, коли, за умовами роботи у складальній одиниці, необроблені поверхні деталі повинні досить точно розташовуватись відносно її конструкторських баз.

Необхідність у розв'язанні другої задачі виникає, якщо за умовами роботи деталі в машині потрібно під час механічної обробки зберегти щільний однорідний шар металу на найвідповідальніших поверхнях деталі. Такими поверхнями є, наприклад, поверхні ковзання напрямних станин металорізальних верстатів, статорів гідравлічних та вакуумних насосів тощо.

Для розв'язання *першої задачі* за технологічні бази на першій операції вибирають ті необроблювані поверхні деталі, до яких лінійними розмірами або іншими вимогами відносного розташування прив'язані оброблювані поверхні. Якщо деталь правильно сконструйована, то таких розмірів має бути не більше трьох.

Розглянемо приклад

Припустимо, що за комплект чистових баз для маршруту механічної обробки заготовки корпуса (рис. 24) вибрані площина 1 і два отвори (2 і 3). Саме ці поверхні мають бути отримані на першій операції.

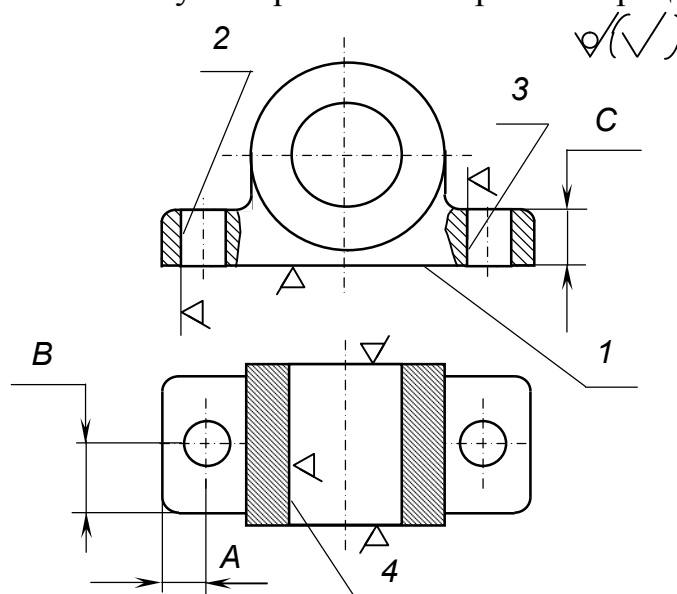


Рисунок 24 — Ескіз до прикладу вибору чорнових технологічних баз

Припустимо також, що на кресленні деталі є три розміри (A , B і C), які визначають розташування оброблених поверхонь деталі відносно необроблених. Наявність таких розмірів означає, що під час вибору чорнових баз необхідно розв'язати першу з означених вище задач.

Схема базування, що забезпечує розв'язання цієї задачі, показана на рис. 25.

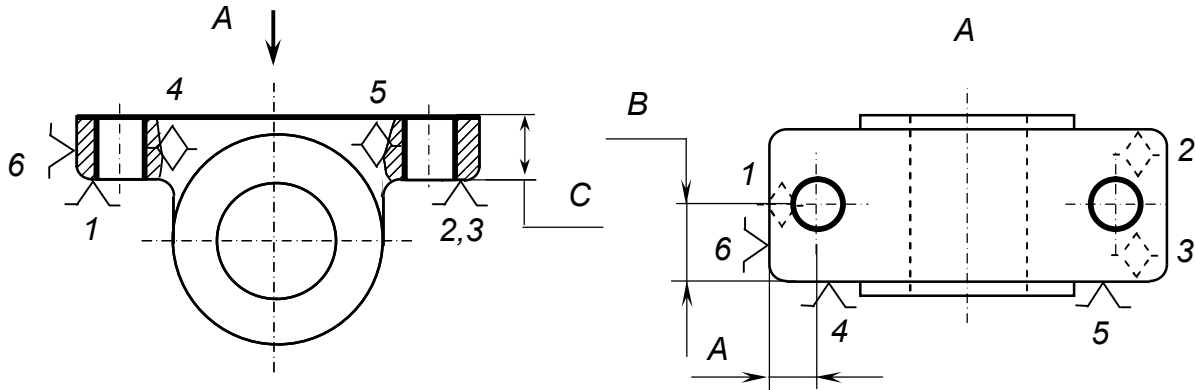


Рисунок 25 — Ескіз зі схемою базування, що пояснює розв'язання задачі забезпечення розмірного зв'язку між оброблюваними і необроблюваними поверхнями

Для розв'язання *другої задачі* за одну з технологічних баз на першій операції вибирають ту поверхню вихідної заготовки, з якої на одній з наступних операцій має бути знятий мінімальний рівномірний припуск. Важливо зауважити, що якщо ця поверхня є:

- площиною, довжина і ширина якої є близькими до габаритних розмірів деталі, то цю площину слід вибрати за установну базу;
- довгою вузькою площиною — за напрямну базу;
- довгою циліндричною поверхнею — за подвійну напрямну базу;
- короткою циліндричною поверхнею — за подвійну опорну базу.

Розглянемо розв'язання другої задачі.

Припустимо, що у відповідності зі службовим призначенням корпусної деталі (див. рис. 24) найвідповідальнішою її поверхнею є отвір 4 і саме з нього потрібно зняти мінімальний рівномірний припуск. Припустимо також, що за комплект чистових баз, як і у попередньому випадку, вибрані площина 1 і два отвори 2 і 3, які мають бути оброблені на першій операції.

Виходячи з вищевикладеного, для забезпечення знімання мінімального рівномірного припуску з поверхні отвору 4, вибираємо за технологічну подвійну напрямну базу на першій операції вісь цього отвору (рис. 26). Розташування інших технологічних баз (двох опорних) частково розв'язує першу задачу.

Якщо всі поверхні деталі механічно обробляються, то розв'язання першої задачі взагалі не може розглядатись, оскільки деталь не має необроблених поверхонь; що ж стосується другої задачі, то вона може розв'язуватись у випадках, якщо форма вихідної заготовки наближена до

форми готової деталі, тобто, якщо основні поверхні деталі утворюються за рахунок знімання припусків, а не напусків. Якщо ж заготовка виготовляється із сортового прокату або вільним куванням і має значні напуски, які мають бути зняті на попередній обробці, то технологічні бази на першій операції вибираються лише з міркувань забезпечення надійності встановлення у верстатному пристрої.

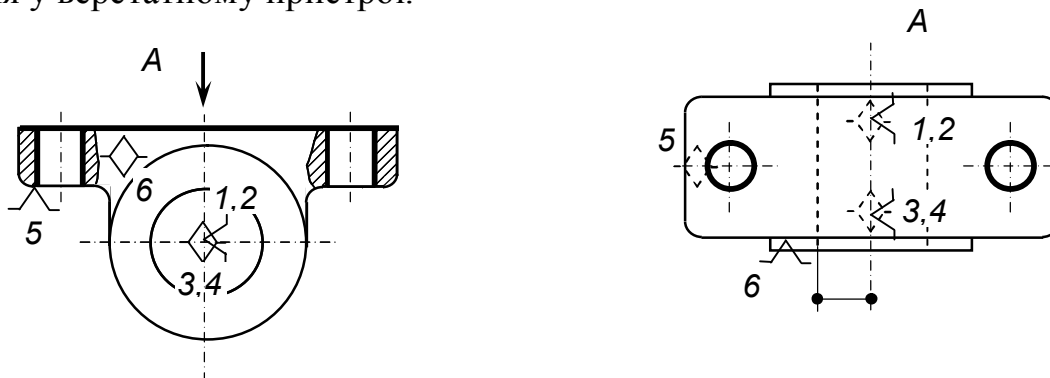


Рисунок 26 — Ескіз зі схемою базування, яка забезпечує розв’язання задачі знімання мінімального рівномірного припуску під час чорнової обробки отвору 4 (див. рис. 24) на одній з подальших операцій

Література — [1, С. 187—192].

3.7 Розробка маршруту механічної обробки

Маршрут обробки заготовки деталі (workpiece machining route) — це укрупнений план обробки заготовки, який встановлює послідовність операцій обробки різанням (механічної обробки), а також зміст і місце в плані обробки термічних, гальванічних, слюсарних та контрольних операцій.

Маршрут має обов’язково відповідати заданому типу виробництва і забезпечувати необхідну якість деталі. Таким чином, побудова маршруту обробки повинна бути підпорядкована одному з головних принципів — забезпечення виконання деталлю свого службового призначення.

Загальна послідовність етапів обробки така:

- обробка чистових технологічних баз;
- попередня (чорнова) обробка площин, які є конструкторськими базами деталі;
- попередня (чорнова) обробка отворів, які є конструкторськими базами деталі (головних отворів);
- попередня (напівчистова) обробка площин, які є конструкторськими базами деталі;
- попередня (напівчистова) обробка отворів, які є конструкторськими базами деталі;

- обробка місцевих елементів — кріпильних поверхонь, фасок, лисок, канавок, різьбових поверхонь, зубчастих вінців, шліцьових поверхонь, шпонкових пазів тощо;

- термічна обробка для забезпечення необхідних фізико-механічних показників матеріалу деталі, у т. ч. її поверхневого шару;

- остаточна обробка площин, які є конструкторськими базами деталі;

- остаточна обробка головних отворів;

- остаточна обробка різьбових поверхонь, зубчастих вінців, шліцьових поверхонь;

- контроль точності обробки.

Важливим питанням побудови маршруту механічної обробки є вибір ступенів *концентрації* і *диференціації* операцій. Це питання значною мірою пов'язане з типом виробництва і конкретними виробничими умовами.

Концентрацією операцій (concentration of operations) називають поєднання декількох простих переходів в одну складну операцію.

Таким чином, технологічний процес, побудований за принципом концентрації операцій, складається з невеликої кількості складних операцій і в сучасному машинобудуванні реалізується завдяки використанню багатоцільових верстатів, автоматичних ліній (у т. ч. гнучких), агрегатних верстатів. Це дозволяє об'єднувати в одну операцію переходи попередньої та остаточної обробок, замінювати декілька установів одним установом і простих одноінструментальних переходів складними суміщеними переходами багатоінструментальної і багатолезової обробок однієї або декількох поверхонь. Це забезпечує підвищення:

- точності відносного розташування поверхонь завдяки обробці з одного установка;

- продуктивності обробки за рахунок суміщення в часі декількох переходів і, відповідно, скорочення витрат загального основного часу;

- продуктивності обробки за рахунок скорочення витрат додаткового часу (на встановлення і знімання заготовки, на заміну інструмента, на вмикання і вимикання верстата).

Крім того, скорочується тривалість виробничого циклу завдяки скороченню міжопераційного пролежування, оскільки зменшується загальна кількість операцій, а, відповідно, і обсяг незавершеного виробництва.

З побудовою операцій за принципом концентрації підвищуються вимоги до точності і технологічних можливостей верстатів і до кваліфікації робітників, оскільки їм доводиться виконувати як складну чистову обробку, так і попередню обробку на чорнових переходах.

Диференціацією операцій (differentiation of operations) називають побудову операцій з невеликої кількості простих технологічних переходів.

Технологічний процес, побудований за принципом диференціації операцій, складається зі значної кількості простих операцій.

Переваги диференціації операцій перш за все пов'язані з можливістю відокремлення складної і точної чистової обробки, яка вимагає високої

кваліфікації робітників, від попередньої неточної обробки, яка може виконуватись високопродуктивними способами на відносно дешевих верстатах робітниками середньої кваліфікації.

В машинобудуванні використовуються обидва принципи побудови технологічних процесів, які вибираються технологами в залежності від конкретних умов виробництва.

Маршрут механічної обробки має бути поділений на операції, операції — на переходи. Формулювання змісту переходів повинні відповідати ГОСТ 3.1702—79 [29].

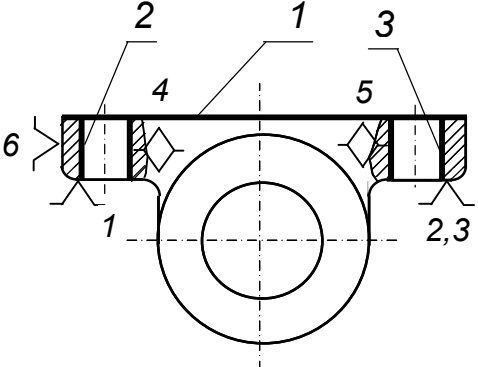
Кожна з операцій має супроводжуватись ескізом заготовки, показаної у такому положенні, яке вона займатиме в робочій зоні верстата.

На кожному з ескізів показують схему базування і потовщеними лініями (у два рази ширшими за основні) — оброблені на цій операції поверхні. Всі конструктивні елементи, утворені на попередніх операціях, показують на ескізі даної операції основними лініями.

Кількісні значення розмірів, шорсткості поверхонь та інших вимог точності на ескізах схем базування і обробки показувати не потрібно. Для наочності оброблені поверхні можуть бути пронумеровані.

Приклад оформлення маршруту обробки (розглянута лише перша операція) показаний у таблиці 2.

Таблиця 2 — Приклад оформлення маршруту обробки

Номер, назва і зміст операції	Ескіз обробки зі схемою базування	Тип і модель верстата
<p>005 Вертикально-фрезерна з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Фрезерувати площину 1 попередньо. 2. Центрувати отвори 2 і 3. 3. Свердлити отвори 2 і 3. 4. Фрезерувати площину 1 остаточно. 5. Розвернути отвори 2 і 3 попередньо. 6. Розвернути отвори 2 і 3 остаточно. 		<p>Вертикально-фрезерний з ЧПК 6P13PФ3</p>

Література — [11, С. 295—298], [21, С. 80—82].

3.8 Вибір обладнання і різальних інструментів

Вибір обладнання (верстатів)

Вибираючи верстати для діючого виробництва, орієнтуються на обладнання, яке є на підприємстві, з урахуванням фактичного завантаження окремих його груп.

Під час проектування технологічних процесів для нових підприємств технолог має керуватись лише економічними міркуваннями.

Обладнання вибирають паралельно з розробкою маршруту механічної обробки.

Згідно з класифікацією верстатів, запропонованою А. І. Каширіним, за ознакою широти використання верстатне обладнання поділяється на такі види:

- верстати широкого призначення (універсальні);
- верстати високої продуктивності;
- спеціалізовані верстати;
- спеціальні верстати.

Універсальні верстати (multipurpose machine-tools) можуть бути з ручним керуванням і з числовим програмним керуванням (ЧПК).

Верстати з ручним керуванням використовуються переважно в одиничному виробництві.

Верстати з ЧПК — це напівавтомати і автомати, всі робочі органи яких здійснюють робочі рухи відповідно до керувальної програми. Можливість швидкого переналадження робить рентабельним застосування цих верстатів для обробки невеликих партій заготовок і навіть для виготовлення одиничних деталей складної конфігурації. Гнучкість верстатів з ЧПК і простота їх включення в загальні системи керування від однієї ЕОМ у теперішній час роблять доцільним застосування таких верстатів і в умовах масового виробництва. Це пояснюється тим, що в сучасному масовому виробництві оновлення і зміна продукції, що випускається, відбувається досить часто.

Верстати високої продуктивності (highly-productive machine-tools) мають вужчі технологічні можливості у порівнянні з універсальними верстатами. Однак, завдяки підвищеній потужності і жорсткості, на них можна вести паралельну обробку декількома інструментами з підвищеними подачами і глибинами різання. До верстатів цього виду належать: фрезерно-центрувальні, багатошпиндельні токарні автомати і напівавтомати, безцентрово-шліфувальні, карусельно- і барабанно-фрезерні та ін. Такі верстати призначені для використання в крупносерійному і масовому виробництві. Слід зазначити, що сучасні верстати високої продуктивності зазвичай оснащуються системами ЧПК.

Спеціалізовані верстати (specialized machine-tools) створюють на базі верстатів високої продуктивності, доповнюючи їх додатковими вузлами та спеціальними верстатними пристроями, за допомогою яких вони можуть

продуктивно виконувати конкретні технологічні операції в умовах масового виробництва.

Спеціальні верстати (special machine-tools) проектують і виготовляють на замовлення і використовують для виконання певних операцій тільки у масовому виробництві.

Під час вибору верстатів враховують такі фактори:

- вид чи види обробки, які мають виконуватись на операції, для якої вибирається верстат;
- габарити, маса і конфігурація деталі;
- точність забезпечуваних на операції розмірів;
- бажана продуктивність обробки;
- можливість роботи на оптимальних режимах різання з необхідною подачею, швидкістю різання і потужністю.

Література — [11, С. 332—336], [21, С. 128—132].

Вибір різальних інструментів

Вибір різального інструмента для певної технологічної операції означає визначення для кожного з переходів типу і типорозміру інструмента, а також матеріалу і геометричних параметрів його різальної частини.

За ознакою широти використання різальні інструменти поділяють на універсальні (стандартизовані) і спеціальні.

Під час вибору різальних інструментів враховують такі фактори:

- тип виробництва;
- спосіб обробки;
- тип верстата;
- конфігурацію і розміри оброблюваної заготовки;
- форму і розміри оброблюваної поверхні;
- матеріал заготовки;
- вимоги до точності і шорсткості обробленої поверхні.

Тип виробництва впливає на вибір різального інструмента з економіко-організаційної точки зору. Наприклад, застосування спеціального багатолезового інструменту у масовому виробництві є доцільним, оскільки затрати на його виготовлення швидко компенсуються завдяки скороченню часу на обробку заготовок. В одиничному виробництві спеціальний інструмент використовують лише у випадках, коли на наявному обладнанні обробити заготовку універсальним інструментом неможливо. Слід зазначити, що використання верстатів з контурними системами ЧПК суттєво розширює можливості використання універсальних різальних інструментів для обробки складних фасонних поверхонь в одиничному і серійному виробництві.

Спосіб обробки, прийнятий для виконання певного переходу, визначає тип верстата. Тип верстата впливає на вибір різального інструмента таким

чином, що він, з одного боку, визначає спосіб обробки, а з другого — спосіб базування і закріплення інструмента на верстаті і, відповідно, визначає конструкцію посадкового місця інструмента.

Конфігурація і розміри оброблюваної заготовки впливають на розміри і конструкцію інструмента. Великогабаритні заготовки зазвичай вимагають для обробки інструментів великих типорозмірів.

Матеріал оброблюваних заготовок впливає на вибір матеріалу і геометричних параметрів різальної частини інструмента.

Вимоги до точності і шорсткості обробленої поверхні впливають на вибір типу і конструкції інструмента, геометрію його різальної частини.

В сучасному машинобудуванні широкого розповсюдження набули інструменти, різальна частина яких виконана з надтвердих матеріалів — композитів на основі полікристалів кубічного нітриду бора, мінералокераміки і штучних алмазів. Такі інструменти характеризуються високою стійкістю і забезпечують високу якість оброблених поверхонь. Їх застосовують переважно для чистової та остаточної лезової обробки замість малопродуктивного і вартісного шліфування.

Література — [21, С. 133—135].

3.9 Порівняння маршрутів механічної обробки за мінімумом зведених витрат

Технологічний процес механічної обробки, окрім забезпечення необхідної якості деталей, виготовлених в необхідній кількості, має забезпечити і найменші витрати.

Зазвичай розробляють два альтернативних варіанти маршруту механічної обробки і для подальшого опрацювання вибирають той маршрут, який забезпечує меншу цехову собівартість деталі.

На цьому етапі проектування технологічного процесу визначають і порівнюють між собою сумарні цехові собівартості тільки тих операцій розроблених маршрутів, які відрізняються між собою.

За нормативним методом цехова собівартість (в грн) операції механічної обробки визначається за формулою

$$C_o = \frac{C_{п-в} \cdot T_{ш-к}}{60 \cdot k_b}, \quad (1)$$

де $C_{п-в}$ — цехові годинні зведені витрати, грн/год.; $T_{ш-к}$ — штучно-калькуляційний час виконання операції, хв, k_b — коефіцієнт виконання норм (в машинобудуванні складає 1,3).

Значення $C_{п-в}$ для поширених моделей металорізальних верстатів наведені у [5] (додаток Ж, таблиця Ж.1). Дані цієї таблиці є наближеними і тому можуть використовуватися тільки у навчальному процесі.

Величину $T_{ш-к}$ попередньо можна визначити так. Спочатку потрібно для кожної з операцій, що відрізняються, обох маршрутів скласти перелік технологічних переходів, на яких здійснюється механічна обробка основних поверхонь. Обробку неглибоких отворів і канавок, точіння фасок тощо не розглядають. Далі, з використанням формул [5] (додаток Є, стовпець 5) наближено знаходять основний машинний час кожного з врахованих технологічних переходів.

Після визначення основного машинного часу переходів знаходять загальний основний машинний час кожної з операцій, що відрізняються, за формулою

$$T_o = T_{o1} + T_{o2} + T_{o3} + \dots + T_{ok},$$

де k — кількість технологічних переходів операції.

Далі визначається штучно-калькуляційний час виконання кожної з операцій, що відрізняються, за формулою

$$T_{ш-к} = \varphi_k T_o,$$

де φ_k — коефіцієнт, значення якого залежить від типу верстата і типу виробництва. Цей коефіцієнт визначається за [5] (додаток Є).

Далі за формулою (1) знаходять цехову собівартість кожної з операцій, що відрізняються, і визначають річний економічний ефект (в грн) від використання того варіанта маршруту, який забезпечує меншу цехову собівартість, за формулою

$$E = \left(\sum_{i=1}^n C_{oi} - \sum_{j=1}^m C_{oj} \right) \cdot N,$$

де n і m — відповідно, кількості операцій, що відрізняються, у першому і другому варіантах маршрутів; $\sum_{i=1}^n C_{oi}$ і $\sum_{j=1}^m C_{oj}$ — загальні цехові со-

бівартості операцій, що відрізняються, відповідно, першого і другого варіантів маршрутів; N — річна програма випуску деталей.

Література — [5, С. 22—24], () [19, С. 80—89].

3.10 Питання для самоконтролю

1. Поняття одиничного, типового і групового технологічних процесів.
2. У якій послідовності проектується одиничний технологічний процес механічної обробки?
3. Які початкові дані необхідні для проектування технологічного процесу механічної обробки?
4. Який виріб вважається технологічним?
5. Які фактори враховують під час аналізу технологічності конструкції деталі?
6. Шляхи підвищення технологічності деталі.
7. Припустимо, що деталь має декілька необроблених поверхонь і декілька оброблених поверхонь. Поясніть, як мають бути зв'язані розмірами ці поверхні на кресленні деталі.
8. Які фактори враховують під час вибору способу виготовлення вихідної заготовки?
9. Які фактори впливають на вибір способу обробки певної поверхні?
10. Суть визначення кількості ступенів механічної обробки циліндричної поверхні за допомогою нормативного (табличного) методу.
11. Суть визначення кількості ступенів механічної обробки циліндричної поверхні за допомогою розрахункового методу.
12. Яка задача розв'язується під час вибору чистових технологічних баз?
13. Які показники точності деталі впливають на вибір чистових технологічних баз?
14. Поняття принципу постійності баз. Як впливає дотримання цього принципу на величини похибок: базування; закріплення; пристрою?
15. Наведіть приклади застосування принципу постійності баз?
16. Поняття штучних технологічних баз. Наведіть приклади їх використання.
17. Поняття чорнових технологічних баз.
18. Поясніть, як розв'язується задача забезпечення розмірного зв'язку між обробленими і необробленими поверхнями під час вибору чорнових технологічних баз. Наведіть приклади.
19. Поясніть, як розв'язується задача знімання мінімального рівномірного припуску з певної поверхні під час вибору чорнових технологічних баз. Наведіть приклади.
20. Загальна послідовність виконання операцій механічної обробки деталей.
21. Яку інформацію зазвичай містить маршрут механічної обробки заготовки деталі?
22. Суть побудови технологічного процесу механічної обробки з використанням концентрації операцій.

23. Суть побудови технологічного процесу механічної обробки з використанням диференціації операцій.

24. Наведіть приклади типів верстатів: універсальних; високої продуктивності; спеціалізованих; спеціальних.

25. Які фактори враховують під час вибору верстатів для операцій механічної обробки?

26. Які фактори враховують під час вибору різальних інструментів для операцій механічної обробки?

27. Мета і методика виконання порівняння маршрутів механічної обробки за мінімумом зведених витрат.

Розділ 4 ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

4.1 Припуски на механічну обробку. Методи визначення припусків

Креслення вихідної заготовки відрізняється від креслення готової деталі перш за все тим, що на всі х оброблюваних поверхнях передбачені припуски. *Припуск (allowance)* — це шар металу, який видаляється з поверхні заготовки для компенсації неточностей, що виникли в процесі її виготовлення або під час попередньої механічної обробки.

Проміжним припуском (intermediate allowance) називають шар металу, що видаляється з поверхні заготовки під час виконання одного переходу.

Загальним припуском (total allowance) називають шар металу, що видаляється з поверхні вихідної заготовки в процесі механічної обробки для отримання готової деталі. Загальний припуск дорівнює сумі проміжних припусків.

Призначення раціональних припусків є відповідальною техніко-економічною задачею.

Призначення невиправдано великих припусків призводить до значних втрат металу, який перетворюється в стружку; збільшує трудомісткість механічної обробки; збільшує витрати на різальний інструмент і електроенергію, збільшує потребу в обладнанні і в робітниках.

Призначення невиправдано малих припусків не забезпечить видалення дефектних шарів матеріалу і досягнення необхідних показників точності деталі.

У машинобудуванні використовують поняття *напуску (overlap)*, під яким також розуміють шар металу, що видаляється механічною обробкою. На відміну від припуску, утворення напуску пов'язано з особливостями технології виготовлення вихідної заготовки. До напусків відносять: формувальні і штампувальні уклони, непролиті і непрошиті отвори, шари металу сортового прокату, різноманітні впадини у виливках і штампованих поковках, заповнені металом, тощо. Наявність напусків збільшує трудомісткість механічної обробки. Приклади напусків показані на рис. 27.

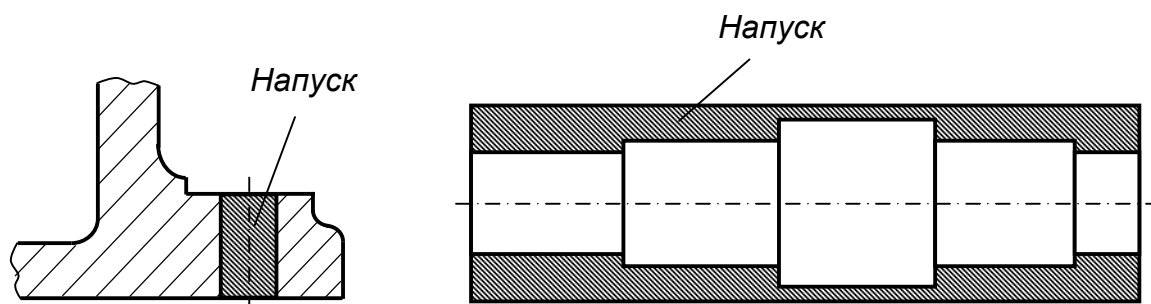


Рисунок 27 — Приклади напусків

Вихідними даними для визначення проміжних припусків є:

- маршрут механічної обробки деталі;
- спосіб виготовлення вихідної заготовки і показники її точності;
- кількість ступенів (переходів) та способи механічної обробки поверхні.

Для визначення припусків в машинобудуванні використовують два методи: дослідно-статистичний і розрахунково-аналітичний.

Дослідно-статистичний метод оснований на використанні таблиць. Таблиці розроблені в результаті узагальнення і систематизації виробничих даних провідних заводів. Деякі з цих даних стандартизовані. Наприклад, загальні припуски на обробку виливків можна визначити за ГОСТ 26645—85, на обробку штампованих поковок — за ГОСТ 7505—89 та ін. Значення проміжних припусків для поширених способів обробки є в [23, 33, 34 та ін.].

Табличні значення припусків для запобігання браку зазвичай завищують, оскільки вони не враховують конкретних умов обробки (послідовність і зміст операцій, схеми базування (у т. ч. на першій операції) та ін.). Через це виникла необхідність розробки науково обґрунтованого методу визначення припусків. Такий метод (розрахунково-аналітичний) був розроблений професором В. М. Кованом.

Розрахунково-аналітичний метод визначення припусків враховує конкретні умови виконання технологічного процесу обробки завдяки аналізу і виявленню факторів, які впливають на величину припуску. Згідно з цим методом величина мінімального проміжного припуску на механічну обробку певної поверхні (рис. 28) визначається такими факторами: висотою мікронерівностей Rz_{i-1} , глибиною дефектного шару h_{i-1} , просторовими відхиленнями оброблюваної поверхні відносно технологічних баз ρ_{i-1} , що утворились на технологічному переході, який передує виконуваному, а також похибкою встановлення заготовки у верстатний пристрій ε_{B_i} , яка виникає на виконуваному технологічному переході.

Таким чином, мінімальний проміжний припуск на обробку плоских поверхонь визначається за формулою

$$z_{\min_i} = Rz_{i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_{B_i}, \quad (2)$$

а для циліндричних поверхонь

$$2z_{\min_i} = 2 \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{B_i}^2} \right). \quad (3)$$

У формулах (2, 3) i — порядковий номер технологічного переходу, для якого визначається припуск.

Величини Rz і h визначаються за таблицями [19, С. 98—99].

На поверхні вихідної заготовки завжди є дефектний шар незалежно від її матеріалу і способу виготовлення. Якщо заготовка виготовлена з чавуну, то

вважається, що у цьому випадку механічна обробка не утворює дефектного шару і тому після першого переходу обробки різанням величина h вилучається з розрахунків.

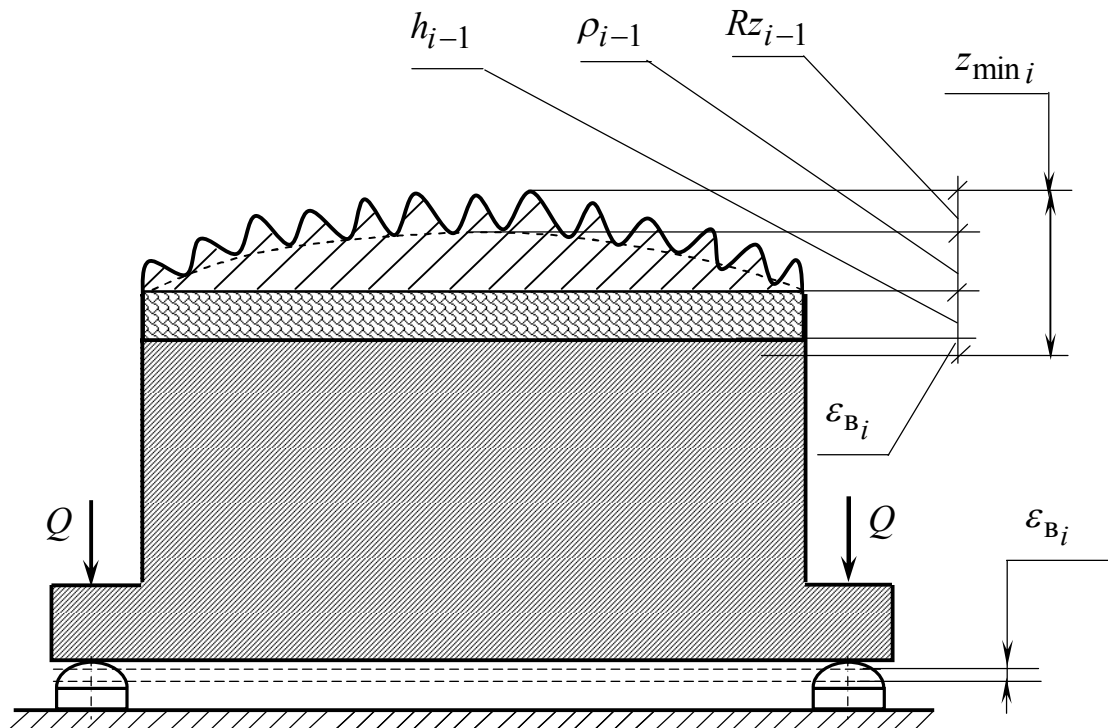


Рисунок 28 — Фактори, що впливають на величину мінімального проміжного припуску

Величина ρ залежить від способу виготовлення вихідної заготовки та її форми, виду поверхні (отвір чи зовнішня циліндрична поверхня), схем базування як на першій, так і на наступних операціях. Кількісні значення ρ знаходять за допомогою формул і числових даних, які містяться, наприклад, в [19, С. 98, 99].

Детальніше методика визначення величини ρ розглянута у наведеному нижче прикладі визначення мінімальних проміжних припусків на переходи механічної обробки отвору у деталі типу «корпус підшипника».

Якщо зовнішня циліндрична поверхня заготовки (наприклад, шийка ступінчастого вала, кінцевий діаметр якої значно менший за діаметр вихідної заготовки, виготовленої з круглого сортового прокату) утворюється в процесі точіння за рахунок знімання напуску, то вважається, що під час визначення припусків на всі переходи механічної обробки цієї поверхні $\rho = 0$.

Залишкові просторові відхилення на механічно оброблених поверхнях, які мали початкові відхилення (на вихідній заготовці), є наслідком копіювання похибок під час обробки. Значення цих похибок залежать від режимів різання, жорсткості технологічної системи і фізико-механічних властивос-

тей оброблюваного матеріалу. Під час розрахунків припусків можна із забезпеченням достатньої точності скористатися емпіричною формулою

$$\rho_i = 0,05 \cdot \rho_{i-1} \quad (4)$$

Вплив *похибки встановлення* ε_B на величину мінімального припуску пояснюється тим, що поверхня, з якої в процесі механічної обробки зрізатиметься припуск (далі — оброблювана поверхня), може займати різне положення після встановлення кожної із заготовок партії у верстатний пристрій. Ця нестабільність положення оброблюваної поверхні повинна бути компенсована додатковою складовою проміжного припуску. Слід особливо підкреслити, що, на відміну від складової ρ , яка утворюється під час виготовлення заготовки або на одній з попередніх операцій механічної обробки, ε_B виникає саме на тому переході, для якого розраховується проміжний мінімальний припуск.

Таким чином, під час розрахунку мінімального проміжного припуску *похибка встановлення визначається як поле розсіювання розміру між оброблюваною поверхнею заготовки і настроєним на розмір інструментом.*

Для визначення ε_B потрібно побудувати відповідний технологічний розмірний ланцюг і розв'язати обернену задачу його розрахунку. Ланкою замикання в цьому ланцюзі є розмір між оброблюваною поверхнею заготовки і настроєним на розмір інструментом. Це показано в прикладі, що розглядається нижче.

Під час визначення проміжних припусків на обробку зовнішніх циліндричних поверхонь, за умови встановлення заготовок на центрові отвори, вважається, що величина ε_B незначна і нею можна знехтувати.

Похибка встановлення не виникає також, коли циліндрична поверхня утворюється за рахунок видалення напуску.

Величина ε_B визначається для кожного з установів, незалежно від того, здійснюються вони на одній операції, чи на різних.

Ефект копіювання похибок поширюється і на похибку встановлення. Тому, якщо циліндрична поверхня обробляється на певній операції на декількох переходах, але на одному установі, то залишкове зміщення її осі після виконання певного технологічного переходу можна знайти за емпіричною формулою

$$\varepsilon_{B_i} = 0,05 \cdot \varepsilon_{B_{i-1}} \quad (5)$$

Важливим є те, що у будь-якому випадку призначений мінімальний припуск не повинен бути меншим за мінімальну товщину стружки, яку може зрізати лезо інструмента. У відповідності з [14, С. 258] для точіння ця товщина складає 20...50 мкм, а для інших видів обробки вона може бути більша (фрезерування) або менша (абразивна обробка). Через це у сумнів-

них випадках, якщо розрахований за формулами (2) або (3) мінімальний припуск на остаточну обробку менший або приблизно дорівнює значенню мінімальної товщини стружки, то цей припуск слід визначати (з урахуванням вибраного способу обробки) за допомогою дослідно-статистичного (нормативного) методу, тобто за таблицями.

Розглянемо приклад

Потрібно визначити мінімальні проміжні припуски на механічну обробку отвору в деталі типу «корпус підшипника».

Вихідні дані

1. Отвір обробляється на одній операції і на одному установі. Ескіз зі схемою базування показаний на рис. 29. Встановлення заготовки — на опорні пластини і два пальці (круглий та зрізаний). Діаметр виконавчих (установних) поверхонь пальців — $\text{Ø}11\text{h}8\left(\begin{smallmatrix} -0,032 \\ -0,059 \end{smallmatrix}\right)$. Закріплення заготовки — за допомогою гвинтових затискачів.

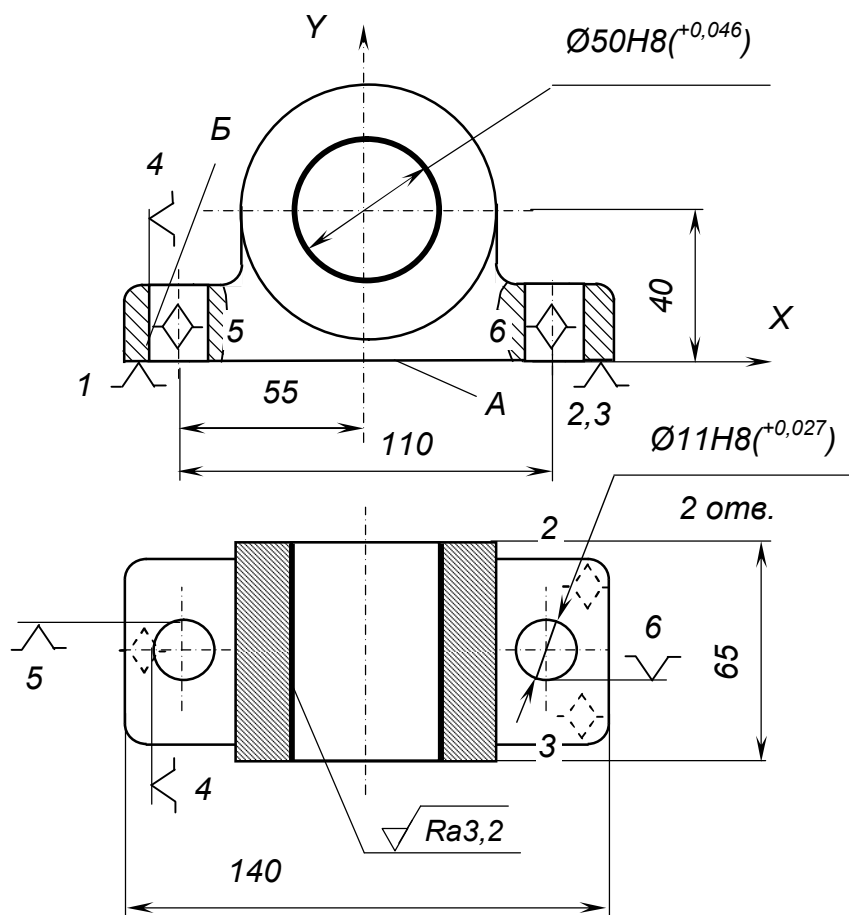


Рисунок 29 — Ескіз зі схемою базування на операції обробки отвору в деталі типу «корпус підшипника»

2. Заготовка — виліток в оболонкову форму (9-й клас точності відповідно до ГОСТ 26645—85). Допуск діаметрального розміру отвору у вихідній заготовці складає 2,0 мм.

3. Технологічний маршрут обробки отвору $\varnothing 50H8$ складається з трьох переходів — чорнового, чистового і тонкого розточування на свердлильно-фрезерно-розточувальному верстаті ІР320ПМФ4. Всі переходи здійснюються на одному установі заготовки.

4. Чистові технологічні бази (площина і два отвори $\varnothing 11H8$) утворюються на першій операції механічної обробки.

Визначимо елементи мінімального припуску для всіх переходів обробки отвору.

Для поверхні отвору у вихідній заготовці величини Rz і h складають, відповідно, 40 мкм і 260 мкм [19, табл. 4.25].

Значення Rz і h після чорнового розточування складають, відповідно, 50 мкм [19, табл. 4.27] і 0 мкм (оскільки матеріал заготовки — чавун).

Після чистового розточування величина Rz складає 25 мкм [19, табл. 4.27].

Величину просторових відхилень отвору оброблюваної поверхні визначимо за формулою [19, С. 100]

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{\rho_{\text{жол}}^2 + \rho_{\text{зм}}^2} . \quad (6)$$

Жолоблення отвору має враховуватись як в діаметральному, так і в осьовому напрямі, тому

$$\rho_{\text{жол}} = \sqrt{(\Delta_{\text{ж}}d)^2 + (\Delta_{\text{ж}}l)^2} , \quad (7)$$

де $\Delta_{\text{ж}}$ — питоме жолоблення; d і l — відповідно діаметр і довжина отвору в готовій деталі.

Величина $\Delta_{\text{ж}}$ для прикладу, що розглядається, складає 0,7 мкм/мм.

Таким чином,

$$\rho_{\text{жол}} = \sqrt{(0,7 \cdot 50)^2 + (0,7 \cdot 65)^2} = 47 \text{ мкм}.$$

Для визначення величини $\rho_{\text{зм}}$ розглянемо операційний ескіз механічної обробки заготовки на першій операції. Припустимо, що схема базування на першій операції відповідає розв'язанню задачі забезпечення розмірного зв'язку оброблених поверхонь з необробленими (рис. 30).

Вісь отвору у вихідній заготовці пов'язана з чистовими технологічними базами (площиною A і отвором B) розмірами A_{55} і A_{40} відповідно. Тому знайдемо $\rho_{\text{зм}}$ як середньоквадратичне значення сумарних похибок механічної обробки цих розмірів, тобто

$$\rho_{\text{зм}} = \sqrt{(\varepsilon_{\Sigma 55})^2 + (\varepsilon_{\Sigma 40})^2} . \quad (8)$$

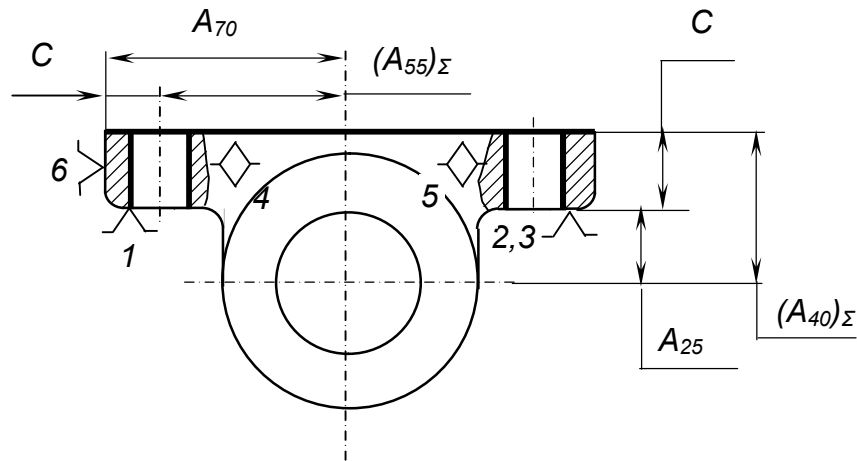


Рисунок 30 — Ескіз зі схемою базування на операції обробки чистових баз (першій операції)

Визначимо величини $\varepsilon_{\Sigma 55}$ та $\varepsilon_{\Sigma 40}$ за спрощеною формулою визначення сумарної похибки механічної обробки

$$\varepsilon_{\Sigma} = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \omega^2} \quad (9)$$

де ε_{δ} — похибка базування; ω — середньостатистична точність способу механічної обробки.

Знайдемо похибки базування на розміри A_{55} і A_{40} , побудувавши відповідні розмірні ланцюги (рис. 30). Очевидно, що

$$\varepsilon_{\delta 55} = T(A_{70}) + T(C).$$

Оскільки величина $T(C)$ є фактично похибкою настроєння і враховується в ω , то можна прийняти $T(C) = 0$. Розмір A_{70} з'єднує необроблені поверхні і тому величину допуску цього розміру визначаємо за ГОСТ 26645—85 [30]. Для заготовки 9-го ступеня точності $T(A_{70}) = 2200$ мкм. Таким чином, $\varepsilon_{\delta 55} = T(A_{70}) = 2200$ мкм.

Аналогічно знаходимо $\varepsilon_{\delta 40}$

$$\varepsilon_{\delta 40} = T(A_{25}) + T(C),$$

і, відповідно, $\varepsilon_{\delta 40} = T(A_{25}) = 1600$ мкм.

Значення ω_{55} (зміщення осі отвору після свердління відносно технологічних баз) згідно з [24, табл. 7, С. 16] складає 180 мкм.

Вважаючи, що двократне фрезерування площини (див. рис. 30) забезпечує 12-й квалітет точності, прийmemo $\omega_{40} = 250$ мкм.

Підставивши відповідні кількісні значення ε_6 і ω у (8), отримаємо

$$\varepsilon_{\Sigma 55} = \sqrt{(2200)^2 + (180)^2} = 2208 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon_{\Sigma 40} = \sqrt{(1600)^2 + (250)^2} = 1620 \text{ мкм}.$$

За формулами (3) і (7) знайдемо кількісні значення ρ_{3M} і ρ_{3AG}

$$\rho_{3M} = \sqrt{(2208)^2 + (1620)^2} = 2738 \text{ мкм};$$

$$\rho_{3AG} = \sqrt{(47)^2 + (2738)^2} = 2740 \text{ мкм}.$$

Залишкове значення просторового відхилення після чорнового розточування складе $\rho_1 = 0,05 \cdot 2740 = 136$ мкм, а після чистового — $\rho_2 = 0,05 \cdot 136 = 7$ мкм.

Відповідно до [24, С. 40] похибка встановлення під час розрахунків припусків знаходиться як різниця між граничними положеннями оброблюваної поверхні партії заготовок.

Похибка встановлення на попередньому розточуванні визначимо як середньоквадратичне значення цих похибок у напрямках осей X і Y (див. рис. 26)

$$\varepsilon_B = \sqrt{\varepsilon_{Bx}^2 + \varepsilon_{By}^2}.$$

Похибка встановлення у напрямі кожної з осей може бути визначена за формулою

$$\varepsilon_B = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{пр}^2}, \quad (10)$$

де ε_6 , ε_3 і $\varepsilon_{пр}$ — відповідно похибка базування, похибка закріплення і похибка пристрою.

Похибки ε_3 та $\varepsilon_{пр}$ на етапі визначення припусків зазвичай не розраховують, а користуються таблицями [3, С. 75—82], у яких наведені середньостатистичні кількісні значення суми цих похибок (в таблицях ця сума означена як похибка закріплення). Аналогічні таблиці є і в [19, С. 109—113]. З урахуванням цього формулу (10) можна записати у вигляді

$$\varepsilon_B = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2}. \quad (11)$$

Визначимо похибку базування ε_{δ_x} у напрямі осі X як поле розсіювання розміру A_{Δ_x} (рис. 31), який з'єднує в горизонтальній площині вісь отвору вихідної заготовки з віссю обертання розточувальної оправки.

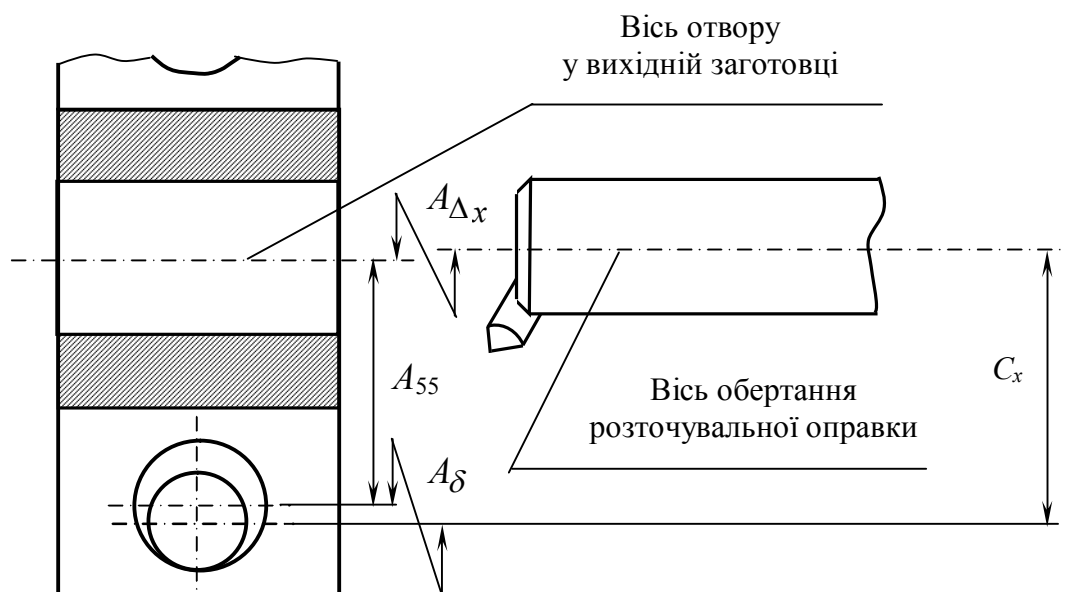


Рисунок 31 — Схема розмірного ланцюга для визначення похибки базування у напрямі осі X

Розв'язуючи обернену задачу розрахунку розмірних ланцюгів, отримаємо

$$\varepsilon_{\delta_x} = \delta(A_{\Delta_x}) = T(A_{55}) + T(A_{\delta}) + T(C_x) .$$

Величина $T(A_{55})$ фактично є сумарною похибкою обробки розміру 55 мм і повністю врахована в ρ_{3M} .

Величина $T(C_x)$ є похибкою настроєння інструмента. Кількісне значення цієї похибки, у порівнянні з іншими складовими припуску, є незначним і ним можна знехтувати.

Величина $T(A_{\delta})$ дорівнює величині максимально можливого зміщення осі отвору у вихідній заготовці через зазор між отвором $\text{Ø}11H8$ і круглим пальцем $\text{Ø}11e8$, тобто максимальному зазору. Таким чином,

$$\varepsilon_{\delta_x} = T(A_{\delta}) = D_{\max} - d_{\min} , \quad (12)$$

де D_{\max} і d_{\min} — відповідно максимальний діаметр отвору і мінімальний діаметр пальця.

Підставивши відповідні значення в (12), отримаємо

$$\varepsilon_{\delta_x} = 11,027 - 10,941 = 0,086 \text{ мм} = 86 \text{ мкм} .$$

Оскільки за прийнятої схеми встановлення затискні сили спрямовані у напрямі осі Y , то похибка закріплення у напрямі осі X відсутня і, таким чином, $\varepsilon_{B_x} = \varepsilon_{\delta_x} = 86$ (мкм).

Знайдемо похибку встановлення у напрямі осі Y (ε_{B_y}). Похибку ε_{δ_y} визначимо як поле розсіювання розміру A_{Δ_y} (рис. 32). Цей розмір з'єднає у напрямі осі Y вісь отвору вихідної заготовки з віссю обертання розточувальної оправки. Складемо відповідний технологічний розмірний ланцюг. Розмір A_{Δ_y} у цьому ланцюзі буде ланкою замикання.

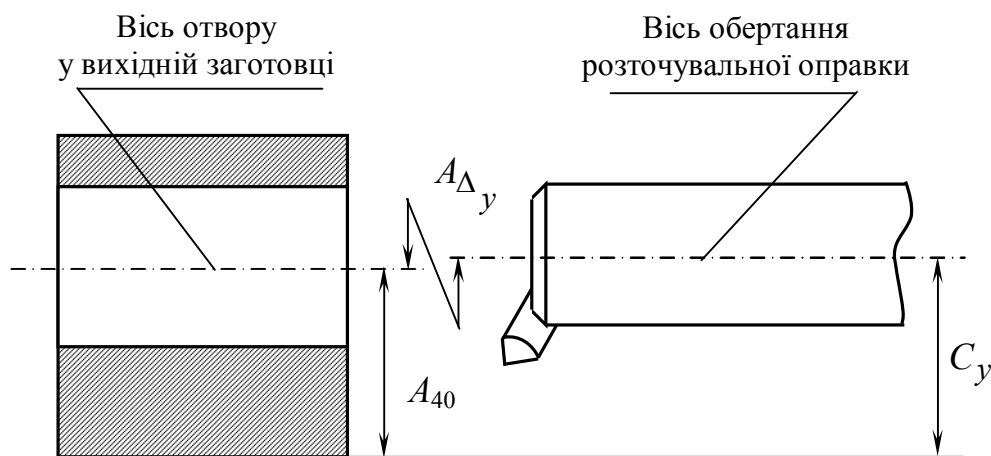


Рисунок 32 — Схема розмірного ланцюга для визначення похибки базування у напрямі осі Y

Таким чином,

$$\varepsilon_{\delta_y} = \delta(A_{\Delta_y}) = T(A_{40}) + T(C_y).$$

Величина $T(A_{40})$ визначена раніше як сумарна похибка механічної обробки розміру 40 мм і повністю врахована в ρ_{3M} . Величиною $T(C_y)$ нехтуємо як і у випадку розрахунку ε_{δ_x} . Таким чином, $\varepsilon_{\delta_y} = 0$.

Оскільки сили закріплення направлені паралельно осі Y , то згідно з [19, табл. 4.37] похибка закріплення у напрямі цієї осі складе 90 мкм. Таким чином,

$$\varepsilon_{B_y} = \varepsilon_{3_y} = 90 \text{ мкм.}$$

За формулою (10) визначимо похибку встановлення на попередньому розточуванні

$$\varepsilon_{B_1} = \sqrt{86^2 + 90^2} = 127 \text{ мкм.}$$

Залишкова похибка встановлення на чистовому розточуванні згідно з (5) складе

$$\varepsilon_{B_2} = 0,05 \cdot 127 = 6 \text{ мкм,}$$

а на тонкому розточуванні

$$\varepsilon_{B_3} = 0,05 \cdot 6 = 0,3 \text{ мкм} \approx 0.$$

За формулою (3) визначимо розрахункові мінімальні проміжні припуски для розточування:

Чорнового

$$2z_{\min_1} = 2 \left(40 + 260 + \sqrt{2740^2 + 127^2} \right) = 2 \cdot 3042 \text{ мкм;}$$

чистового

$$2z_{\min_2} = 2 \left(50 + \sqrt{136^2 + 6^2} \right) = 2 \cdot 186 \text{ мкм.}$$

тонкого

$$2z_{\min_3} = 2 \left(25 + \sqrt{7^2} \right) = 2 \cdot 32 \text{ мкм.}$$

Оскільки отриманий мінімальний припуск на тонке розточування може бути меншим за мінімальну товщину стружки, яку здатний зняти різець, виберемо мінімальний припуск за [23, табл. 37]. Таким чином, остаточно $2z_{\min_3} = 2 \cdot 75 \text{ мкм.}$

Література — [3, С. 59—92], [11, С. 253—263], [18, С. 243—250], [19, С. 95—120].

4.2 Визначення технологічних розмірів обробки циліндричних поверхонь

Припуски на механічну обробку не є остаточним результатом проектування технологічного процесу, оскільки в технологічних документах вказують не величини припусків, а технологічні розміри, які повинні забезпечуватись в результаті зрізання припусків. Тому наступним етапом проектування після визначення проміжних мінімальних припусків є розрахунок технологічних розмірів і розмірів вихідної заготовки. Таким чином, задача полягає в тому, що, знаючи мінімальні проміжні припуски на всі переходи обробки певної циліндричної поверхні, необхідно розрахувати всі технологічні розміри і розміри вихідної заготовки.

Під час обробки за один робочий хід на попередньо настроєному верстаті через пружні зміщення елементів системи ВПД відбувається копіювання. Воно полягає в тому, що під час обробки заготовки з найменшим розміром $D_{\text{заг}}^{\min}$ (рис. 33) розмір деталі також буде найменшим ($D_{\text{дет}}^{\min}$), а під час обробки заготовки з найбільшим розміром $D_{\text{заг}}^{\max}$ розмір деталі також буде найбільшим ($D_{\text{дет}}^{\max}$).

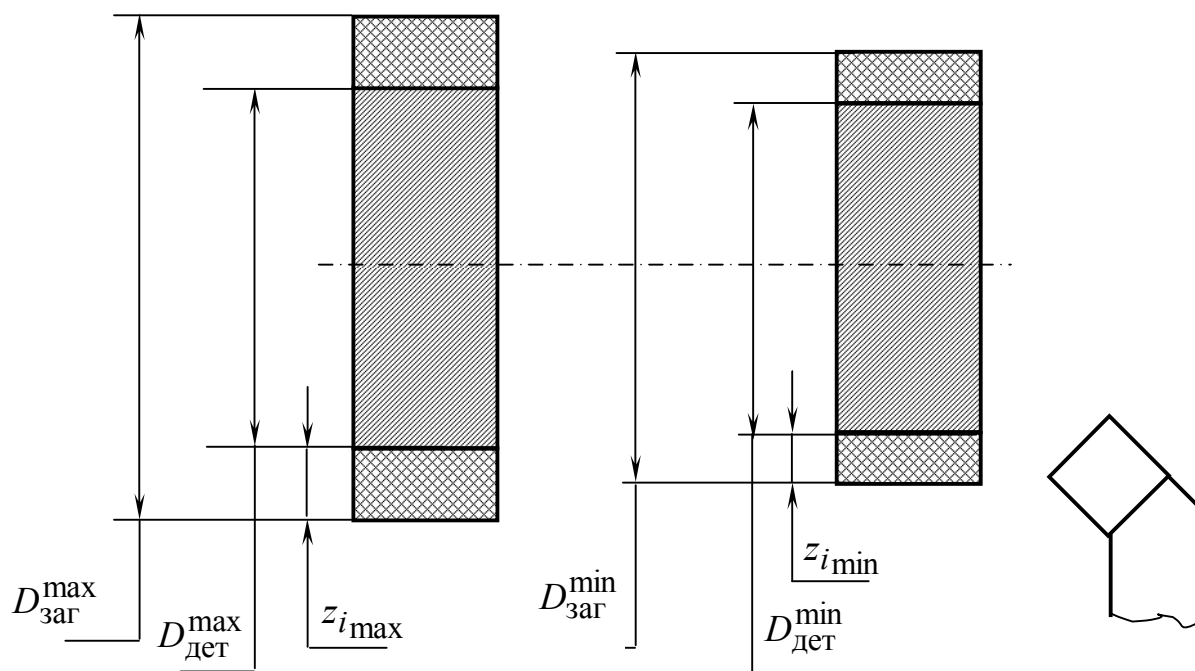


Рисунок 33 — Схема, що пояснює методику визначення технологічних розмірів, виходячи з відомих значень мінімальних припусків

Таким чином, мінімальний проміжний припуск

$$2z_{i\min} = D_{\text{заг}}^{\min} - D_{\text{дет}}^{\min}, \quad (13)$$

максимальний проміжний припуск

$$2z_{i\max} = D_{\text{заг}}^{\max} - D_{\text{дет}}^{\max}. \quad (14)$$

З формули (13) випливає, що найменший граничний розмір зовнішньої циліндричної поверхні на попередньому переході ($i - 1$) пов'язаний з найменшим граничним розміром поверхні на виконуваному переході (i) таким співвідношенням

$$D_{i-1}^{\min} = D_i^{\min} + 2z_{i\min}. \quad (15)$$

Відповідно найбільший граничний розмір внутрішньої циліндричної поверхні (отвору) на попередньому переході ($i - 1$) пов'язаний з найбільшим граничним розміром поверхні на виконуваному переході (i) співвідношенням

$$D_{i-1}^{\max} = D_i^{\max} - 2z_{i\min}. \quad (16)$$

Відомо, що найменший і найбільший граничні розміри зовнішньої циліндричної поверхні для будь-якого переходу зв'язані між собою таким співвідношенням

$$D^{\max} = D^{\min} + T, \quad (17)$$

де T — допуск розміру, а найбільший і найменший граничні розміри отвору, відповідно, співвідношенням

$$D^{\min} = D^{\max} - T. \quad (18)$$

На основі формул (13—18) розроблена послідовність розрахунку технологічних розмірів циліндричних поверхонь [3 та ін.], яка відображена у таблиці 3. З використанням цієї послідовності розраховані технологічні розміри на всі переходи обробки, розміри вихідної заготовки, максимальні і загальні припуски для прикладу обробки отвору $\text{Ø}50H8(^{+0,046})$ мм. Результати розрахунків зведені у таблицю 4.

Таблиця 3 — Послідовність розрахунку технологічних розмірів зовнішніх циліндричних поверхонь і отворів

Для зовнішніх циліндричних поверхонь	Для отворів
1	2
1. Записати визначені попередньо значення Rz ; h ; ρ ; ε і T	
2. Визначити розрахункові мінімальні припуски для всіх технологічних переходів	
3. Записати для останнього переходу в графу «Розрахунковий розмір» найменший граничний розмір поверхні у відповідності з кресленням деталі.	3. Записати для останнього переходу в графу «Розрахунковий розмір» найбільший граничний розмір поверхні у відповідності з кресленням деталі.
4. Для передостаннього переходу визначити розрахунковий розмір додаванням до найменшого граничного розміру за кресленням розрахункового припуску $2z_{\min}$.	4. Для передостаннього переходу визначити розрахунковий розмір відніманням від найбільшого граничного розміру за кресленням розрахункового припуску $2z_{\min}$.
5. Послідовно визначити розрахункові розміри для кожного з попередніх переходів додаванням до розрахункового розміру цього переходу розрахункового припуску $2z_{\min}$ наступного переходу.	5. Послідовно визначити розрахункові розміри для кожного з попередніх переходів відніманням від розрахункового розміру цього переходу розрахункового припуску $2z_{\min}$ наступного переходу.
6. Записати найменші граничні розміри для всіх технологічних переходів, заокруглюючи їх в сторону збільшення розрахункових розмірів; заокруглювати слід до того знака десяткового дробу, з яким даний допуск на розмір для кожного переходу.	6. Записати найбільші граничні розміри для всіх технологічних переходів, заокруглюючи їх в сторону зменшення розрахункових розмірів; заокруглювати слід до того знака десяткового дробу, з яким даний допуск на розмір для кожного переходу.
7. Розрахувати найбільші граничні розміри додаванням допуску до заокругленого найменшого граничного розміру.	7. Розрахувати найменші граничні розміри відніманням допуску від заокругленого найбільшого граничного розміру.
8. Записати значення максимальних припусків $2z_{\max}$ як різницю найбільших граничних розмірів і $2z_{\min}$ як різницю найменших граничних розмірів попереднього і виконуваного переходів.	8. Записати значення максимальних припусків $2z_{\max}$ як різницю найменших граничних розмірів і $2z_{\min}$ як різницю найбільших граничних розмірів виконуваного і попереднього переходів.
9. Знайти загальні припуски $2z_{\Sigma_{\max}}$ і $2z_{\Sigma_{\min}}$, підсумовуючи проміжні припуски.	
<p>10. Перевірити правильність розрахунків за формулами</p> $2z_{i_{\max}} - 2z_{i_{\min}} = T_{i-1} - T_i;$ $2z_{\Sigma_{\max}} - 2z_{\Sigma_{\min}} = T_{\text{заг}} - T_{\text{дет}},$ <p>де T_{i-1}, T_i, $T_{\text{заг}}$, $T_{\text{дет}}$ — відповідно допуски: технологічного розміру на попередньому переході, технологічного розміру на виконуваному переході, вихідної заготовки і деталі.</p>	

Таблиця 4 — Результати розрахунку припусків, технологічних розмірів і розмірів вихідної заготовки (отвір $\varnothing 50H8$ мм)

Технологічні переходи обробки отвору $\varnothing 50H8^{(+0,046)}$	Елементи припуску, мкм				Розрахунко- вий мінімальний припуск $2z_{\min}$, мкм	Розрахунковий розмір d_p , мм	Допуск T , мкм	Граничні значення технологічних роз- мірів і розмірів ви- хідної заготовки, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	Rz	h	ρ	ε_B				d_{\min}	d_{\max}	$2z_{\min}$	$2z_{\max}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Заготовка (випуск)	40	260	2740	—	—	43,440	2000	41,4	43,4	—	—
Розточування чорнове	50	—	136	127	2·3042	49,524	460	49,06	49,52	2·3060	2·3830
Розточування чистове	25	—	7	6	2·186	49,896	120	49,77	49,89	2·185	2·355
Розточування тонке				—	(2·75)*	50,046	46	50,000	50,046	2·78	2·115
Загальний припуск										2·3323	2·4300

* Мінімальний припуск вибраний за [23, табл. 37].

Перевіримо правильність розрахунків

$$2z_{1\max} - 2z_{1\min} = T_{\text{заг}} - T_1.$$

$$2z_{1\max} - 2z_{1\min} = 2 \cdot 3830 - 2 \cdot 3060 = 1540 \text{ мкм.}$$

$$T_{\text{заг}} - T_1 = 2000 - 460 = 1540 \text{ мкм.}$$

$$2z_{2\max} - 2z_{2\min} = T_1 - T_2.$$

$$2z_{2\max} - 2z_{2\min} = 2 \cdot 355 - 2 \cdot 185 = 340 \text{ мкм.}$$

$$T_1 - T_2 = 460 - 120 = 340 \text{ мкм.}$$

$$2z_{3\max} - 2z_{3\min} = T_2 - T_{\text{дет}}.$$

$$2z_{3\max} - 2z_{3\min} = 2 \cdot 115 - 2 \cdot 78 = 74 \text{ мкм.}$$

$$T_2 - T_{\text{дет}} = 120 - 46 = 74 \text{ мкм.}$$

$$2z_{\Sigma\max} - 2z_{\Sigma\min} = T_{\text{заг}} - T_{\text{дет}}.$$

$$2z_{\Sigma\max} - 2z_{\Sigma\min} = 8,6 - 6,646 = 1,954 \text{ мм.}$$

$$T_{\text{заг}} - T_{\text{дет}} = 2 - 0,046 = 1,954 \text{ мм.}$$

Таким чином, перевірка підтвердила правильність розрахунків.

Згідно з [30], для виливків рекомендовано симетричне розташування граничних відхилень відносно номінального розміру. Тому номінальний діаметр отвору у вихідній заготовці складе

$$d_{\text{заг}_{\text{ном}}} = \frac{d_{\text{заг}_{\max}} + d_{\text{заг}_{\min}}}{2} = \frac{43,4 + 41,4}{2} = 42,4 \text{ мм.}$$

Після закінчення розрахунків показують схему розташування розмірів, припусків і допусків. Для прикладу, що розглядається, така схема показана на рис. 34.

Література — [3, С. 59—92], [5, С. 49—64], [12, С. 253—263], [3, С. 59—92], [18, С. 243—250], [19, С. 95—120].

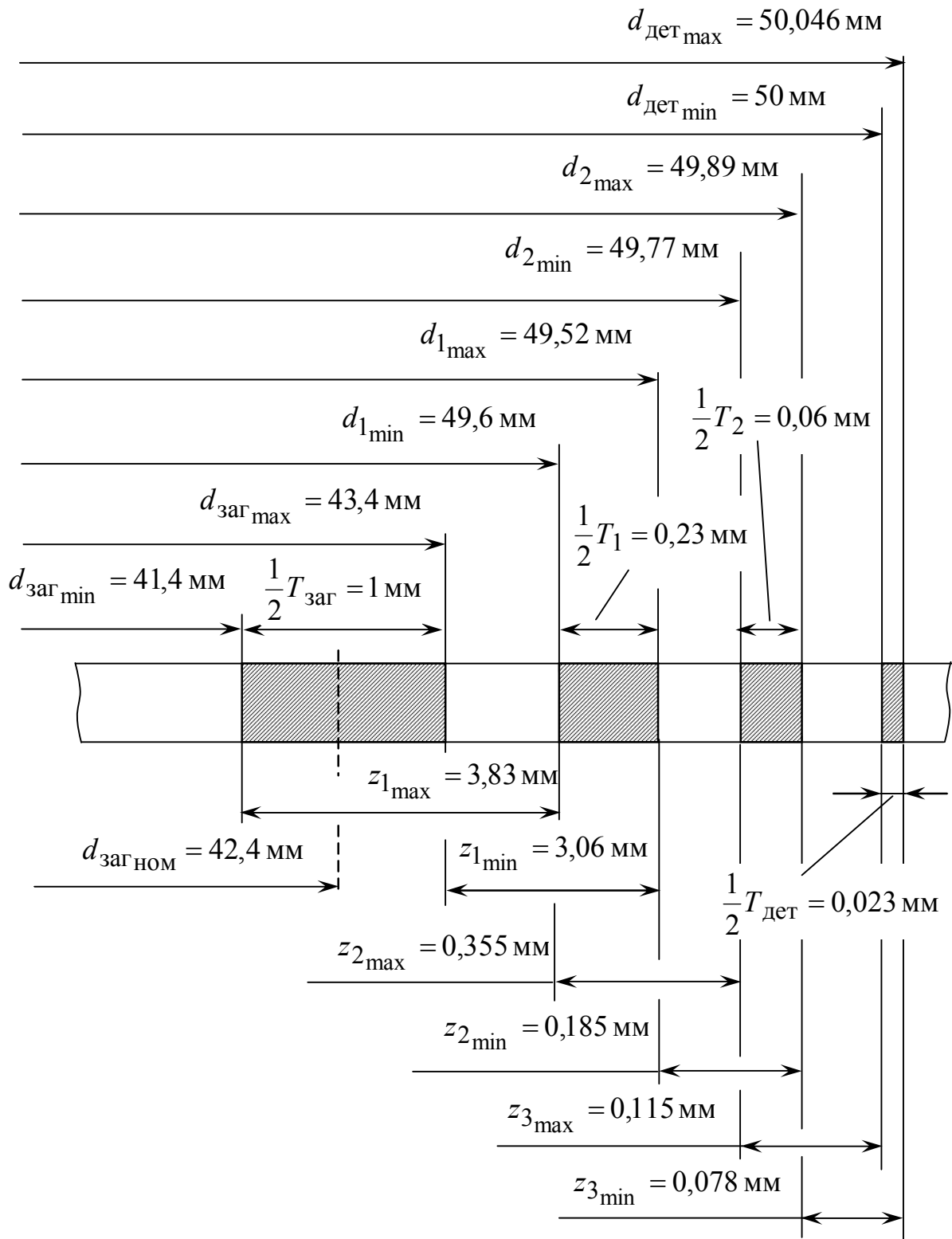


Рис. 34 — Схема розташування розмірів, припусків і допусків на обробку отвору в корпусі підшипника

4.3 Розмірний аналіз технологічних процесів

Задачами *розмірного аналізу технологічного процесу (dimensional analysis of a manufacturing process)* є:

- визначення тих технологічних розмірів і розмірів вихідної заготовки, які з'єднують між собою плоскі поверхні, плоскі поверхні з осями отворів і осі отворів між собою;
- перевірка правильності побудови маршруту механічної обробки і правильності призначення допусків технологічних розмірів;
- визначення максимальних припусків на обробку плоских поверхонь.

Під час реального проектування технологічного процесу механічної обробки, в залежності від форми деталі, розмірний аналіз може виконуватись у напрямі однієї, двох або трьох координатних осей. Під час виконання ж курсового проекту з технології машинобудування та бакалаврської дипломної роботи студентам пропонується виконати розмірний аналіз лише у напрямі однієї координатної осі незалежно від форми деталі.

4.3.1 Вибір розташування технологічних розмірів

Цей етап розмірного аналізу передбачає вибір розташування технологічних розмірів, які з'єднують між собою плоскі поверхні, або плоскі поверхні з осями отворів.

Розташування технологічних розмірів призначається таким чином, щоб забезпечувалась відсутність або мінімальність похибки базування, тобто щоб виконувався принцип суміщення баз або здійснювалась обробка з одного установа тих поверхонь, які координуються відповідним технологічним розміром.

Якщо під час вибору чорнових технологічних баз розв'язується задача забезпечення розмірного зв'язку оброблених і необроблених поверхонь, то відповідні розміри мають бути враховані як технологічні розміри.

4.3.2 Визначення допусків вихідної заготовки і допусків технологічних розмірів

Допуски розмірів вихідної заготовки визначають за відповідними стандартами на заготовки під час її проектування, наприклад, на виливки — за [30], на штамповані поковки — за [31].

Допуски технологічних розмірів призначаються, виходячи з очікуваної точності обробки на відповідних операціях попередньо розробленого маршруту механічної обробки. Якщо похибка базування відсутня або мінімальна і нею можна знехтувати, то допуски технологічних розмірів можна визначати за формулою

$$T(B_i) = \varepsilon_{\Sigma}(B_i) = \omega(B_i),$$

де $\varepsilon_{\Sigma}(B_i)$ – сумарна похибка механічної обробки на технологічний розмір B_i ; $\omega(B_i)$ – середньостатистична точність способу механічної обробки.

Наближене значення $\omega(B_i)$ можна знайти в навчальній і довідковій літературі, наприклад в [3, С. 150—153], [19, С. 222—224] або [24, С. 86—88] та ін. Для точних розрахунків величину $\varepsilon_{\Sigma}(B_i)$ і, відповідно, $\omega(B_i)$ слід визначати з урахуванням всіх елементарних похибок обробки.

Зміст і послідовність виконання подальших етапів розмірного аналізу для більшої наочності розглянемо на *прикладі* деталі типу «фланець» (рис. 35). Розмірний аналіз виконується у напрямі осі обертання деталі.

Початкові дані

1. Тип виробництва — середньосерійний.
2. Вихідна заготовка — вилівок в оболонкову форму із сірого чавуну (рис. 36). Клас розмірної заготовки згідно з [30] — 9-й.

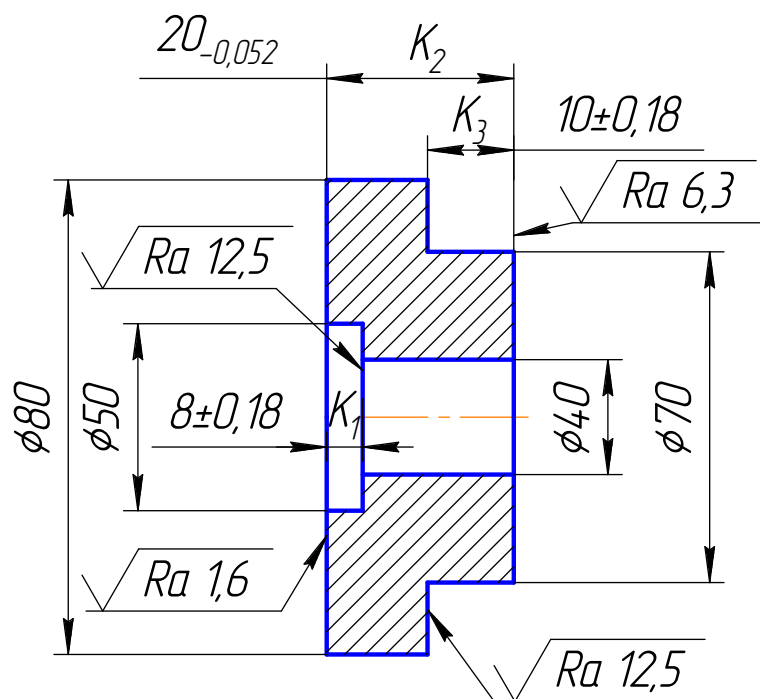


Рисунок 35 — Ескіз деталі

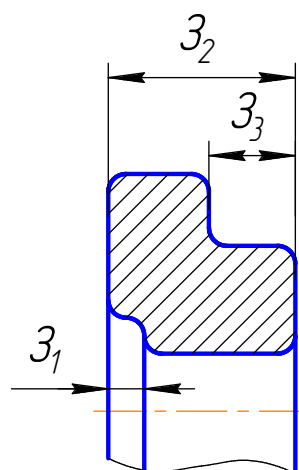
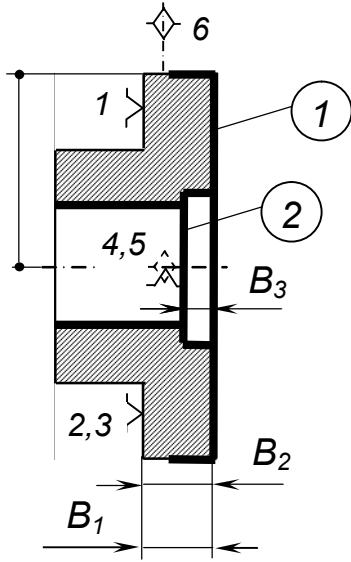
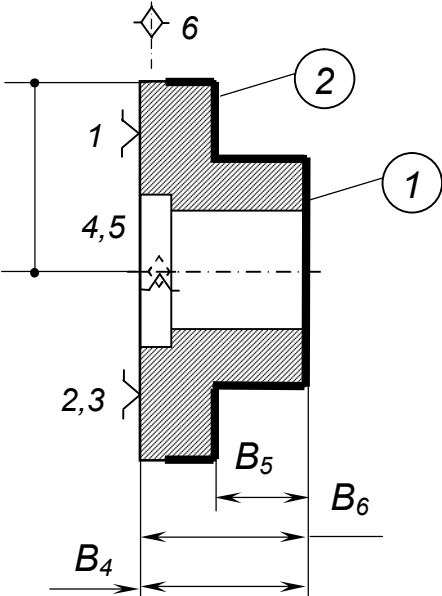
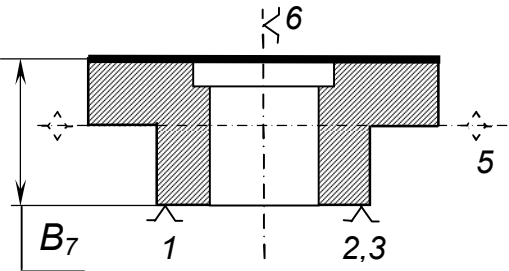


Рисунок 36 — Ескіз заготовки

Маршрут механічної обробки заготовки деталі показаний у таблиці 5. В переходах операцій маршруту умовно не розглядається обробка циліндричних поверхонь, оскільки значення їх конструкторських і технологічних розмірів не впливають на результати розмірного аналізу.

Таблиця 5 — Маршрут механічної обробки (до прикладу виконання розмірного аналізу технологічного процесу)

Номер назва та зміст операції	Схема базування і обробки	Обладнання
<p>005 Токарно-револьверна з ЧПК</p> <p>1. Точити поверхню 1 попередньо в розмір B_1.</p> <p>2. Точити поверхню 1 остаточно в розмір B_2.</p> <p>3. Точити поверхню 2 однократно в розмір B_3.</p>		<p>Токарно-револьверний з ЧПК 1В340Ф30</p>
<p>010 Токарно-револьверна з ЧПК</p> <p>1. Точити поверхню 1 попередньо в розмір B_4, поверхню 2 однократно в розмір B_5.</p> <p>2. Точити поверхню 1 остаточно в розмір B_6.</p>		<p>Токарно-револьверний з ЧПК 1В340Ф30</p>
<p>015 Плоскошліфувальна</p> <p>1. Шліфувати площину в розмір B_7.</p>		<p>Плоскошліфувальний 3701</p>

Визначені у відповідності з рекомендаціями п. 4.3.2 значення допусків розмірів вихідної заготовки і допуски технологічних розмірів показані у таблиці 6.

Таблиця 6 — Допуски розмірів вихідної заготовки і допуски технологічних розмірів

Вихідна заготовка			
Розмір	Спосіб виготовлення	Клас розмірної точності	Допуск, мм
Z_1	Лиття в оболонковій формі	9	1,2
Z_2			1,8
Z_3			1,2
Механічна обробка			
Технологічний розмір	Спосіб обробки	Квалітет точності	Допуск, мм
B_1	Попереднє точіння	12	0,15
B_2	Чистове точіння	11	0,09
B_3	Однократне точіння	11	0,09
B_4	Попереднє точіння	12	0,21
B_5	Однократне точіння	11	0,09
B_6	Чистове точіння	10	0,084
B_7	Плоске шліфування	9	0,052

Допуски деяких технологічних розмірів можуть бути в подальшому уточнені.

4.3.3 Побудова розмірної схеми технологічного процесу

Розмірна схема технологічного процесу будується так. У верхній частині схеми (рис. 37) показують ескіз деталі таким чином, щоб вісь, у напрямі якої здійснюється розмірний аналіз, розташовувалась горизонтально. Біля ескізу деталі показують розташування тих конструкторських розмірів, які визначають відстані між площинами та осями інших конструктивних елементів уздовж вибраної для аналізу осі. Конструкторські розміри позначають як K_i , де i — порядковий номер розміру. Порядок нумерації конструкторських розмірів — довільний. На ескізі деталі умовно показують також припуски z_j , де j — номер поверхні, яка з'являється після зрівзання відповідного припуску. Всі поверхні нумерують зліва направо.

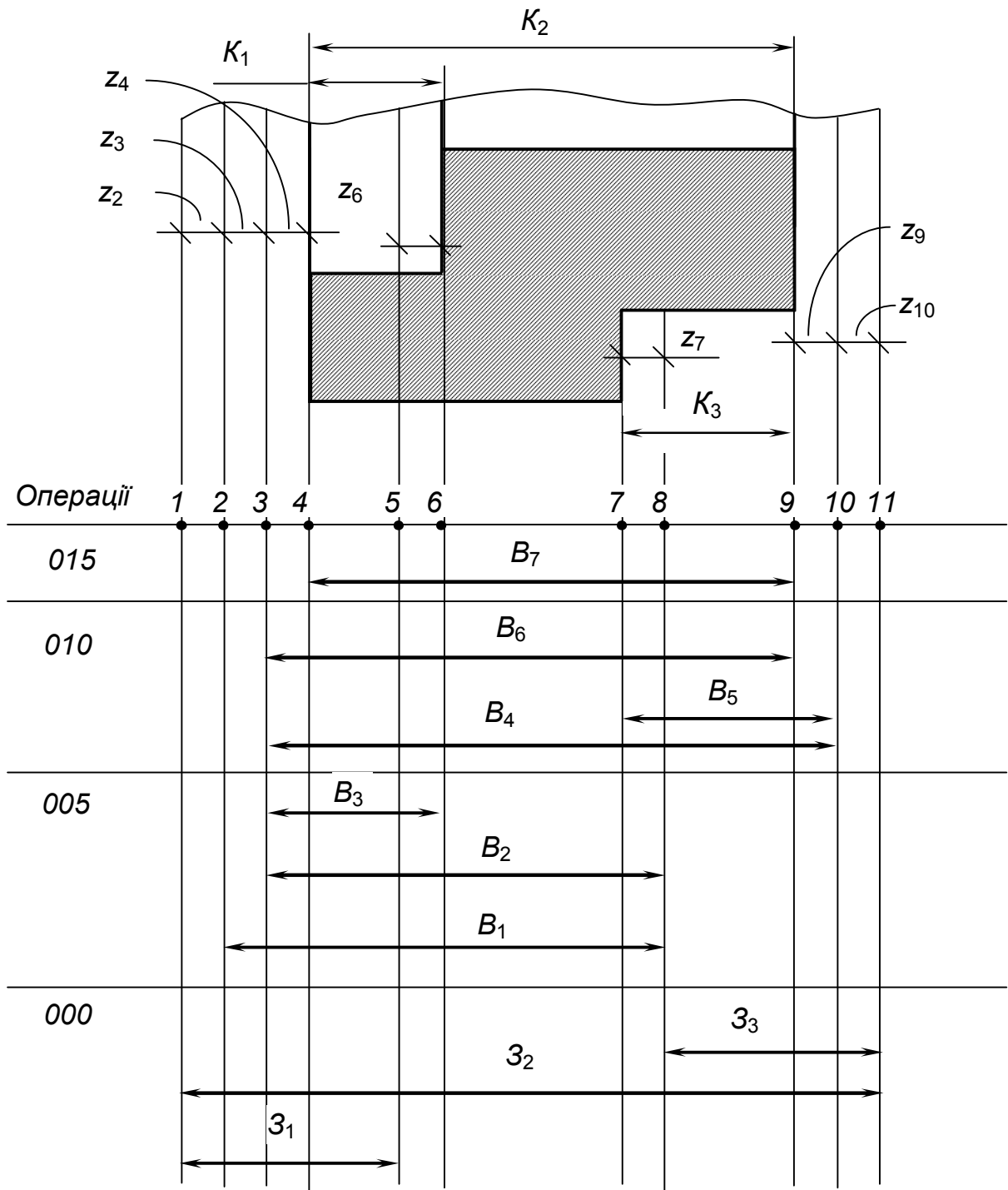


Рисунок 37 — Розмірна схема технологічного процесу

Через нумеровані поверхні проводять вертикальні прямі. Між цими прямими знизу вгору вказують розміри вихідної заготовки z_m , де m — порядковий номер розміру вихідної заготовки (порядок нумерації розмірів вихідної заготовки — довільний), а також усі технологічні розміри B_k , де k — порядковий номер розміру. Для наочності розміри нумеруються у черговості їх отримання.

4.3.4 Побудова похідного і вихідного графів-дерев та суміщеного графа

Похідний і вихідний граф-дерев потрібні для побудови суміщеного графа, а на основі розгляду суміщеного графа знаходять рівняння технологічних розмірних ланцюгів.

Ребрами похідного графа-дерева (рис. 38) є розміри, які визначаються в результаті виконання розмірного аналізу, а саме всі технологічні розміри і розміри вихідної заготовки.

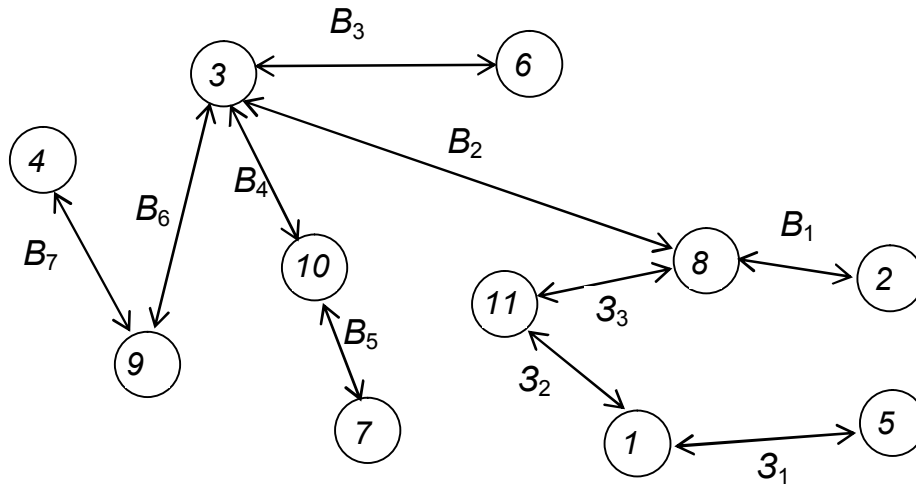


Рисунок 38 — Похідний граф-дерево

Ребрами вихідного графа-дерева (рис. 39) є конструкторські розміри і припуски.

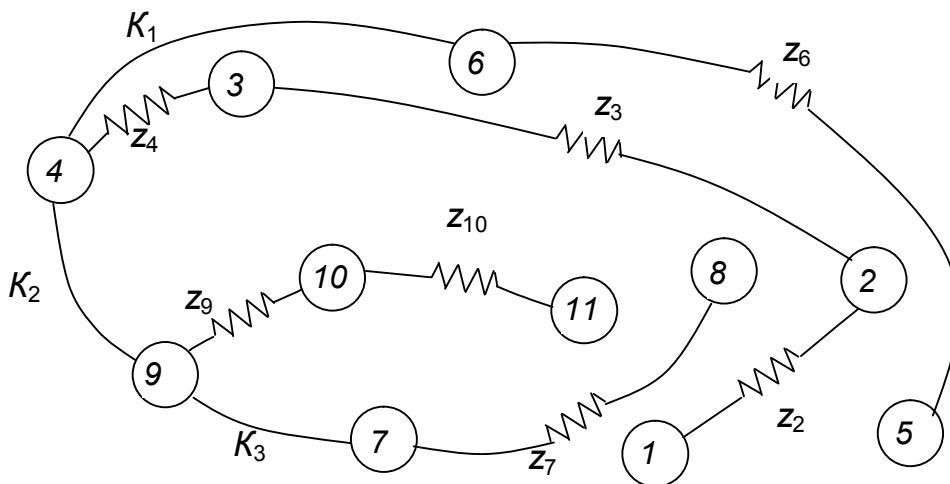


Рисунок 39 — Вихідний граф-дерево

Під час геометричної побудови обох графів-дерев слід розміщувати їх вершини в одних і тих же місцях.

Якщо обидва граф-дерева сумістити так, щоб збіглося розташування їх вершин, то отримаємо суміщений граф або граф технологічних розмірних ланцюгів (рис. 40).

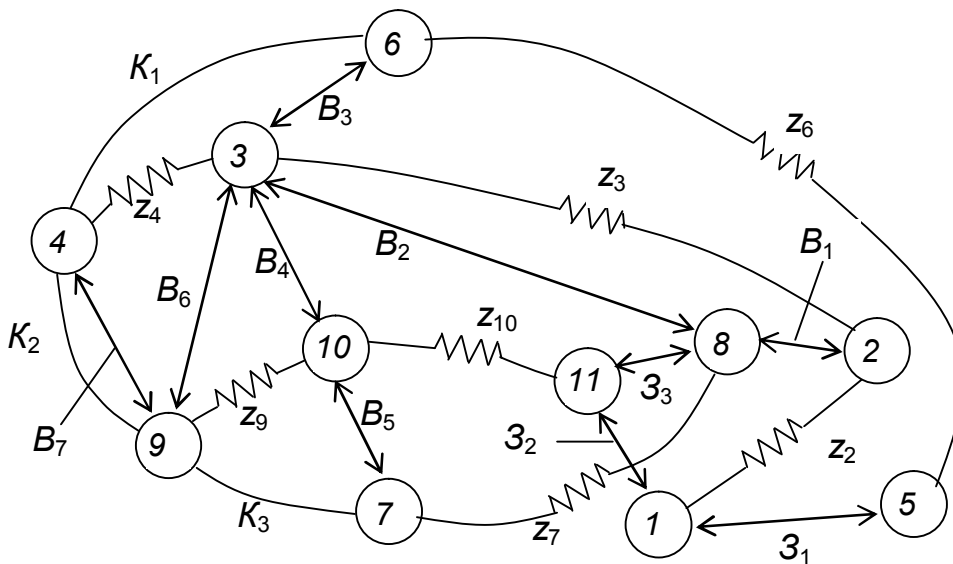


Рисунок 40 — Суміщений граф (граф технологічних розмірних ланцюгів)

Елементи теорії графів та правила побудови похідного і вихідного графів-дерев детальніше розглянуті у посібнику [21, С. 117—120]. Слід зауважити лише, що вершинами усіх трьох графів є геометричні елементи (площини або осі циліндричних поверхонь) вихідної заготовки, геометричні елементи, які з'являються після виконання кожного з переходів механічної обробки і геометричні елементи готової деталі.

4.3.5 Знаходження рівнянь технологічних розмірних ланцюгів

Правила складання рівнянь технологічних розмірних ланцюгів за суміщеним графом описані в [21, С. 121—123]. За цими правилами складаємо тільки ті рівняння, за допомогою яких у подальших розрахунках мають визначатися кількісні значення всіх технологічних розмірів і розмірів вихідної заготовки.

Складаючи рівняння технологічних розмірних ланцюгів, слід враховувати, що у кожному з цих рівнянь має бути лише *одна* замикальна ланка. Такими ланками можуть бути, наприклад, конструкторські розміри і припуски, тобто розміри, кількісні значення яких є відомими ще перед початком розв'язання рівнянь технологічних розмірних ланцюгів. Першими мають бути записані рівняння дволанкових розмірних ланцюгів. Такі рівняння відповідають переходам, на яких технологічний розмір дорівнює конструкторському.

Далі за допомогою суміщеного графа складають рівняння технологічних розмірних ланцюгів у такій послідовності, щоб у кожному з ланцюгів була лише одна невідома за величиною ланка, а величини інших ланок були б визначені розв'язанням попередніх рівнянь. Кількість рівнянь має дорівнювати кількості розмірів, що мають бути визначені в результаті розмірного аналізу.

Рівняння технологічних розмірних ланцюгів для прикладу, що розглядається, записано в таблицю 7.

Таблиця 7 — Рівняння технологічних розмірних ланцюгів

№ рівняння	Розрахункове рівняння	Вихідне рівняння	Розмір, що визначається
1	$-K_2 + B_7 = 0$	$K_2 = B_7$	B_7
2	$-z_4 + B_6 - B_7 = 0$	$z_4 = B_6 - B_7$	B_6
3	$-z_9 - B_6 + B_4 = 0$	$z_9 = B_4 - B_6$	B_4
4	$-K_3 + B_5 - B_4 + B_6 = 0$	$K_3 = B_5 - B_4 + B_6$	B_5
5	$-K_1 + B_7 - B_6 + B_3 = 0$	$K_1 = B_7 - B_6 + B_3$	B_3
6	$-z_7 + B_5 - B_4 + B_2 = 0$	$z_7 = B_5 - B_4 + B_2$	B_2
7	$-z_{10} - B_4 + B_2 + Z_3 = 0$	$z_{10} = Z_3 - B_4 + B_2$	Z_3
8	$-z_3 + B_1 - B_2 = 0$	$z_3 = B_1 - B_2$	B_1
9	$-z_2 + Z_2 - Z_3 - B_1 = 0$	$z_2 = Z_2 - Z_3 - B_1$	Z_2
10	$-z_6 - Z_1 + Z_2 - Z_3 - B_2 + B_3 = 0$	$z_6 = B_3 - Z_1 + Z_2 - Z_3 - B_2$	Z_1

4.3.6 Визначення проміжних мінімальних припусків для обробки плоских поверхонь

Для розв'язання рівнянь розмірних ланцюгів необхідно знати величини проміжних припусків на механічну обробку плоских поверхонь. Під час виконання розмірного аналізу технологічного процесу припуски можуть визначатися як розрахунково-аналітичним методом, так і за допомогою нормативних таблиць. Для скорочення часу рекомендується визначати припуски за таблицями, які є, наприклад, в [23, С. 187, 189]. Таким чином, знайдемо значення мінімальних припусків і запишемо їх в таблицю 8.

Таблиця 8 — Мінімальні проміжні припуски на обробку плоских поверхонь

Позначення припуску	Спосіб обробки, під час якої знімається припуск	Кількісне значення мінімального припуску, мм
z_2	Попереднє точіння	1,1
z_3	Чистове точіння	0,6
z_{10}	Попереднє точіння	1,1
z_6	Однократне точіння	1,1
z_7	Однократне точіння	1,1
z_9	Чистове точіння	0,6
z_4	Плоске шліфування	0,2

4.3.7 Визначення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки, максимальних припусків, корекція допусків технологічних розмірів

Послідовно, починаючи з рівняння 1 (див. табл. 7), з використанням методу максимуму-мінімуму розв'язуємо пряму задачу розрахунку розмірних ланцюгів, а саме виходячи з відомих значень замикальних ланок, мінімальних припусків і конструкторських розмірів, знаходимо значення складових ланок — технологічних розмірів і розмірів вихідної заготовки.

Рівняння 1

$$B_7 = K_2 = 20_{-0,052} \text{ мм.}$$

Рівняння 2

Мінімальне значення замикальної ланки можна знайти з вихідного рівняння розмірного ланцюга, підставивши в це рівняння мінімальні значення збільшувальних ланок (у вихідному рівнянні зі знаком « - ») і максимальні зменшувальних ланок (у вихідному рівнянні зі знаком « + »). З урахуванням цього запишемо рівняння 2 (див. табл. 7) у вигляді

$$z_{4_{\min}} = B_{6_{\min}} - B_{7_{\max}}.$$

Оскільки невідомою у цьому рівнянні є ланка B_6 , то запишемо його відносно цієї ланки

$$B_{6_{\min}} = z_{4_{\min}} + B_{7_{\max}}.$$

Підставивши кількісні значення відомих ланок, отримаємо

$$B_{6_{\min}} = 0,2 + 20 = 20,2 \text{ мм.}$$

Очевидно, що

$$B_{6_{\max}} = B_{6_{\min}} + T(B_6) = 20,2 + 0,084 = 20,284 \text{ мм.}$$

Призначаючи номінальні значення технологічних розмірів слід дотримуватись такого правила: якщо розмір є охоплювальним (відповідна поверхня є «отвором»), то за номінальний береться найменший допустимий розмір; якщо розмір є охоплюваним (відповідна поверхня є «валом»), то за номінальний береться найбільший допустимий розмір; в інших випадках (уступи, розмір між отвором і площиною тощо) за номінальний береться середній розмір.

Значення номінальних розмірів вихідної заготовки призначаються за рекомендаціями відповідних стандартів: для виливків [30], для штампованих поковок [31].

Оскільки розмір B_6 є розміром охоплюваної поверхні, то за номінальний приймемо розмір $B_{6_{\max}}$. Таким чином, в технологічному документі має бути вказаний розмір $B_{6_{\max}} - T(B_6)$, тобто $20,284_{-0,084}$ мм.

Рівняння 3

$$z_{9_{\min}} = B_{4_{\min}} - B_{6_{\max}}.$$

$$B_{4_{\min}} = z_{9_{\min}} + B_{6_{\max}} = 0,6 + 20,284 = 20,884 \text{ мм}.$$

$$B_{4_{\max}} = B_{4_{\min}} + T(B_4) = 20,884 + 0,21 = 21,094 \text{ мм}.$$

Розмір B_4 є розміром охоплюваної поверхні, тому за номінальний приймемо розмір $B_{4_{\max}}$. В технологічному документі має бути вказаний розмір $B_{4_{\max}} - T(B_4)$, тобто $21,094_{-0,186}$ мм.

Рівняння 4

$$K_{3_{\min}} = B_{5_{\min}} - B_{4_{\max}} + B_{6_{\min}}. \quad (19)$$

$$B_{5_{\min}} = K_{3_{\min}} + B_{4_{\max}} - B_{6_{\min}}.$$

$$B_{5_{\min}} = 9,82 + 21,094 - 20,2 = 10,714 \text{ мм}.$$

$$B_{5_{\max}} = B_{5_{\min}} + T(B_5) = 10,714 + 0,09 = 10,804 \text{ мм}.$$

Розмір B_5 є розміром уступу, тому за номінальний приймемо середній розмір, тобто вважатимемо, що $B_{5_{\text{ном}}} = B_{5_{\text{сер}}} = \frac{B_{5_{\max}} + B_{5_{\min}}}{2} = \frac{10,814 + 10,714}{2} = 10,759$ мм. В технологічному документі слід вказати розмір $B_{5_{\text{сер}}} \pm \frac{1}{2}T(B_5)$, тобто $10,759 \pm 0,045$ мм.

Оскільки конструкторський розмір K_3 отримується не безпосередньо як технологічний розмір, а є результатом виконання технологічних розмірів B_4 , B_5 і B_6 , то для перевірки можливості забезпечення необхідної точності розміру K_3 визначимо його фактичне максимальне значення.

$$(K_{3_{\max}})_{\text{факт}} = B_{5_{\max}} - B_{4_{\min}} + B_{6_{\max}} = 10,804 - 20,884 + 20,284 = 10,204 \text{ мм}.$$

Поле розсіювання розміру K_3 складатиме

$$\delta(K_3) = (K_{3\max})_{\text{факт}} - K_{3\min} = 10,204 - 9,820 = 0,384 \text{ мм.}$$

Оскільки $\delta(K_3) > T(K_3) = 0,36 \text{ мм}$, то можна зробити висновок, що точність розміру K_3 не забезпечуватиметься.

Спробуємо зменшити допуск розміру B_4 , тобто знайдемо $T(B_4)$, значення якого задовольнить вимоги точності до розміру K_3 .

З рівняння (19) випливає, що

$$K_{3\max} = B_{5\max} - B_{4\min} + B_{6\max}. \quad (20)$$

Запишемо рівняння (20) відносно $B_{4\min}$ у вигляді

$$B_{4\min} = B_{5\max} - [K_{3\max}] + B_{6\max}. \quad (21)$$

де $[K_{3\max}] = 10,180 \text{ мм}$ — бажане значення розміру K_3 , яке визначається за кресленням деталі.

Підставивши значення відомих розмірів у формулу (21), отримаємо

$$B_{4\min} = 10,804 - 10,180 + 20,284 = 20,908 \text{ мм.}$$

Таким чином, уточнене значення допуску на розмір B_4 складе

$$T(B_4) = B_{4\max} - B_{4\min} = 21,094 - 20,908 = 0,186 \text{ мм.}$$

Рівняння 5

$$K_{1\min} = B_{7\min} - B_{6\max} + B_{3\min}.$$

$$B_{3\min} = K_{1\min} + B_{6\max} - B_{7\min}.$$

$$B_{3\min} = 7,82 + 20,282 - 19,948 = 8,154 \text{ мм.}$$

$$B_{3\max} = B_{3\min} + T(B_3) = 8,154 + 0,09 = 8,244 \text{ мм.}$$

Перевіримо можливість забезпечення необхідної точності розміру K_1 .

$$(K_{1\max})_{\text{факт}} = B_{7\max} - B_{6\min} + B_{3\max} = 20 - 20,2 + 8,244 = 8,044 \text{ мм.}$$

Поле розсіювання розміру K_1 складає

$$\delta(K_1) = (K_{1\max})_{\text{факт}} - K_{1\min} = 8,044 - 7,820 = 0,224 \text{ мм.}$$

Оскільки $\delta(K_1) < T(K_1) = 0,36$ мм, то точність розміру K_1 забезпечується.

Розмір B_3 є розміром уступу, тому за номінальний приймемо середній розмір, тобто вважатимемо, що $B_{3\text{ном}} = B_{3\text{сер}} = \frac{B_{3\text{max}} + B_{3\text{min}}}{2} = \frac{8,244 + 8,154}{2} = 8,199$ мм. В технологічному документі слід вказати розмір $B_{3\text{сер}} \pm \frac{1}{2}T(B_3)$, тобто $8,199 \pm 0,045$ мм.

Рівняння 6

$$z_{7\text{min}} = B_{5\text{min}} - B_{4\text{max}} + B_{2\text{min}}.$$

$$B_{2\text{min}} = z_{7\text{min}} - B_{5\text{min}} + B_{4\text{max}} = 1,1 - 10,714 + 21,884 = 12,270 \text{ мм.}$$

$$B_{2\text{max}} = B_{2\text{min}} + T(B_2) = 12,270 + 0,090 = 12,360 \text{ мм.}$$

Розмір B_2 є розміром охоплюваної поверхні, тому за номінальний приймемо розмір $B_{2\text{max}}$. В технологічному документі має бути вказаний розмір $B_{2\text{max}} - T(B_2)$, тобто $12,36_{-0,09}$ мм.

Рівняння 7

$$z_{10\text{min}} = Z_{3\text{min}} - B_{4\text{max}} + B_{2\text{min}}.$$

$$Z_{3\text{min}} = z_{10\text{min}} + B_{4\text{max}} - B_{2\text{min}} = 1,1 + 21,094 - 12,270 = 9,924 \text{ мм.}$$

$$Z_{3\text{max}} = Z_{3\text{min}} + T(Z_3) = 9,924 + 1,2 = 11,124 \text{ мм.}$$

У відповідності з [35] за номінальне значення розміру Z_3 беремо середнє його значення

$$Z_{3\text{ном}} = Z_{3\text{сер}} = \frac{Z_{3\text{max}} + Z_{3\text{min}}}{2} = \frac{11,124 + 9,924}{2} = 10,524 \text{ мм.}$$

Отримане значення Z_3 округлимо в сторону збільшення до кількості значущих цифр після коми, яке відповідає значенню $T(Z_3)$. Приймемо $Z_{3\text{сер}} = 10,6$ мм. На кресленні заготовки має бути вказаний розмір

$$Z_3 = Z_{3\text{сер}} \pm \frac{T(Z_3)}{2} = 10,6 \pm 0,6 \text{ мм.}$$

Рівняння 8

$$z_{3\min} = B_{1\min} - B_{2\max}.$$

$$B_{1\min} = B_{2\max} + z_{3\min} = 12,36 + 0,6 = 13,5 \text{ мм.}$$

$$B_{1\max} = B_{1\min} + T(B_1) = 12,96 + 0,15 = 13,05 \text{ мм.}$$

Розмір B_1 є розміром охоплюваної поверхні, тому за номінальний приймемо розмір $B_{1\max}$. В технологічному документі має бути вказаний розмір $B_{1\max} - T(B_1)$, тобто $13,05_{-0,15}$ мм.

Рівняння 9

$$z_{2\min} = 3_{2\min} - 3_{3\max} - B_{1\max}.$$

$$3_{2\min} = z_{2\min} + 3_{3\max} + B_{1\max} = 1,1 + 11,124 + 13,05 = 25,274 \text{ мм.}$$

$$3_{2\max} = 3_{2\min} + T(3_2).$$

$$3_{2\text{ном}} = 3_{2\text{сер}} = \frac{3_{2\max} + 3_{2\min}}{2} = \frac{27,074 + 25,274}{2} = 26,176 \text{ мм}$$

Округлене значення номінального розміру 3_2 складе 26,2 мм і, відповідно, на кресленні заготовки має бути вказаний розмір $26,2 \pm 0,9$ мм.

Рівняння 10

$$z_{6\min} = B_{3\min} - 3_{1\max} + 3_{2\min} - 3_{3\max} - B_{2\max}.$$

$$3_{1\max} = B_{3\min} + 3_{2\min} - z_{6\min} - 3_{3\max} - B_{2\max} = 8,154 + 25,274 - 11,124 - 12,36 = 8,844 \text{ мм.}$$

$$3_{1\min} = 3_{1\max} - T(3_1) = 8,844 - 1,2 = 7,644 \text{ мм.}$$

$$3_{1\text{ном}} = 3_{1\text{сер}} = \frac{3_{1\max} + 3_{1\min}}{2} = \frac{8,844 + 7,644}{2} = 8,244 \text{ мм.}$$

Округлене значення номінального розміру 3_1 складе 8,3 мм і, відповідно, на кресленні заготовки має бути вказаний розмір $8,3 \pm 0,6$ мм.

З використанням отриманих вище граничних значень технологічних розмірів і розмірів вихідної заготовки, виходячи з рівнянь 2, 3, 6, 7, 8, 9 і 10 таблиці 7, визначимо максимальні припуски.

$$z_{4\max} = B_{6\max} - B_{7\min} = 20,284 - 19,948 = 0,336 \text{ мм.}$$

$$z_{9\max} = B_{4\max} - B_{6\min} = 21,094 - 20,2 = 0,894 \text{ мм.}$$

$$z_{7\max} = B_{5\max} - B_{4\min} + B_{2\max} = 10,804 - 20,908 + 12,360 = 2,256 \text{ мм.}$$

$$z_{10\max} = B_{3\max} - B_{4\min} + B_{2\max} = 10,824 - 20,908 + 12,360 = 2,276 \text{ мм}$$

$$z_{3\max} = B_{1\max} - B_{2\min} = 13,050 - 12,270 = 0,78 \text{ мм.}$$

$$z_{2\max} = B_{2\max} - B_{3\min} - B_{1\min} = 26,174 - 9,924 - 12,960 = 3,29 \text{ мм.}$$

$$z_{6\max} = B_{3\max} - B_{1\min} + B_{2\max} - B_{3\min} - B_{2\min} = 8,244 - 7,944 + \\ + 26,174 - 9,944 - 12,240 = 6,586 \text{ мм.}$$

Отримані значення максимальних припусків зведемо в таблицю 9.

Таблиця 9 — Максимальні припуски, мм

$z_{2\max}$	$z_{3\max}$	$z_{4\max}$	$z_{6\max}$	$z_{7\max}$	$z_{9\max}$	$z_{10\max}$
3,29	0,780	0,336	6,586	2,256	0,894	2,276

Остаточні значення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки та допуски цих розмірів показані у таблиці 10.

Приклад виконання розмірного аналізу технологічного процесу виготовлення корпусної деталі є в [5, С. 41—48].

Література — [5, С. 24—32], [21, С. 111—129].

Таблиця 10 — Значення технологічних розмірів, розмірів вихідної заготовки та допуски цих розмірів, мм

Позначення розміру	Граничні значення розмірів		Допуск	Номінальний розмір	Значення розміру у технологічному документі	Значення розміру на кресленні вихідної заготовки
	мінімальний розмір	максимальний розмір				
B_1	12,960	13,050	0,15	13,050	$13,05_{-0,15}$	—
B_2	12,270	12,360	0,09	12,360	$12,36_{-0,09}$	—
B_3	8,154	8,244	0,09	8,199	$8,199 \pm 0,045$	—
B_4	20,908	21,094	0,186	21,094	$21,094_{-0,186}$	—
B_5	10,714	10,804	0,09	10,759	$10,759 \pm 0,045$	—
B_6	20,200	20,284	0,084	20,284	$20,284_{-0,084}$	—
B_7	19,948	20,000	0,052	20,000	$20_{-0,052}$	—
3_1	7,944	8,844	1,2	8,3	—	$8,3 \pm 0,6$
3_2	24,974	26,174	1,8	26,2	—	$26,2 \pm 0,9$
3_3	9,924	10,824	1,2	10,6	—	$10,6 \pm 0,6$

4.4 Призначення режимів різання

Початковими даними для визначення *режимів різання (cutting modes)* є:

- маршрут механічної обробки;
- матеріал заготовки і показники його фізико-механічних властивостей;
- тип різального інструмента;
- матеріал різальної частини інструмента та її геометричні параметри;
- тип і модель верстата.

Режими різання визначають у такій послідовності:

- глибина різання;
- подача;
- швидкість різання;
- частота обертання шпинделя;
- потужність різання;
- розрахункова довжина робочого ходу інструмента;
- основний час виконання кожного з робочих ходів.

Режими різання можуть визначатися розрахунково-аналітичним методом або за нормативами.

Визначення глибини різання

Якщо під час виконання робочого ходу знімається припуск, то, визначаючи подачу і швидкість різання, *глибину різання (cutting depth) t* приймають рівною середньому припуску, тобто

$$t = \frac{z_{\min} + z_{\max}}{2}.$$

Визначаючи потужність різання, беруть максимальну глибину різання $t_{\max} = z_{\max}$.

Зазвичай припуск зрізається за один робочий хід різального інструмента. Якщо ж перед зніманням припуску спочатку має бути зрізаний напуск, то для забезпечення високої продуктивності глибину різання вибирають максимально можливою. Це зменшує кількість робочих ходів. Конкретне значення глибини різання під час знімання напуску вибирається з урахуванням виду обробки, матеріалу різальної частини, типу і розмірів інструмента, матеріалу і розмірів заготовки та інших факторів.

Призначення подачі

Величину *подачі (feed)* призначають за нормативними таблицями [25].

Для *чорнової* обробки подачу вибирають максимально можливою, виходячи з жорсткості і міцності системи ВПД, потужності приводу верстата, міцності тврдосплавної пластинки та інших обмежувальних факторів.

Для *чистої* та *фінішної* обробок подача залежить від бажаної шорсткості і точності обробленої поверхні.

Вид і розмірність подачі залежать від способу механічної обробки. Найчастіше використовувані види подач, їх позначення та розмірність для поширених способів механічної обробки показані в таблиці 11.

Таблиця 11 — Види подач

Способи обробки	Вид подачі	Позначення подачі	Розмірність подачі
Гочіння, розточування, свердління, розсвердлювання, зенкерування, розвірчування	Подача на один оберт	s	мм/об
Фрезерування	Подача на один зуб	s_z	мм/зуб
	Хвилинна подача	$s_{хв}$	мм/хв
	Подача на один оберт	s	мм/об
Кругле зовнішнє шліфування з поздовжньою подачею	Поздовжня подача	$s_{пз}$	мм/хв
	Поперечна подача (переміщення шліфувального круга в радіальному напрямі на один подвійний хід заготовки)	$s_{поп}$	мм/подв. хід
Кругле зовнішнє шліфування з радіальною подачею (врізне шліфування)	Радіальна подача (переміщення шліфувального круга в радіальному напрямі на один оберт заготовки)	s_p	мм/об
Безцентрове зовнішнє шліфування з поздовжньою подачею	Поздовжня подача	$s_{пз}$	мм/хв
Безцентрове зовнішнє шліфування з радіальною подачею	Радіальна подача	s_p	мм/об
Внутрішнє шліфування	Поздовжня подача	$s_{пз}$	мм/хв
	Поперечна подача (переміщення шліфувальної бабки на один подвійний хід шпинделя)	$s_{поп}$	мм/подв. хід
Плоске шліфування периферією круга на верстатах з прямокутним столом	Швидкість переміщення стола	$v_{ст}$	м/хв
	Подача на глибину шліфування	s_t	мм/хід стола
	Поперечна подача	$s_{поп}$	мм/хід стола

Для чорнового фрезерування за нормативами вибирається подача на один зуб фрези s_z , а для чистового — на один оберт фрези s .

Зв'язок між хвилинною подачею, подачею на один оберт s та подачею на один зуб фрези s_z такий

$$s_{\text{хв}} = sn = s_z zn$$

де z — кількість зубів у фрези.

Визначення швидкості різання та частоти обертання шпинделя

Для лезової обробки *швидкість різання (cutting speed)* можна розрахувати за емпіричними формулами [25] або визначити за нормативами [8, 15, 16].

Частота обертання шпинделя (spindle rotation speed) верстатів для лезової обробки зазвичай регулюється в широких межах. В універсальних верстатах з ручним керуванням частота обертання шпинделя змінюється ступінчасто і тому, визначивши швидкість різання v за нормативами, потрібно за формулою

$$n = \frac{1000v}{\pi d}, \quad (22)$$

де d — діаметр (в мм) оброблюваної поверхні або різального інструмента, знайти розрахункову частоту обертання шпинделя і потім, згідно з паспортними даними верстата, вибрати її найближче менше значення.

У більшості верстатів з ЧПК частота обертання шпинделя регулюється безступінчасто у заданих паспортними даними верстата межах. Тому, визначивши значення n за формулою (22), його слід округлити в меншу сторону до цілого числа і перевірити чи входить воно в можливий діапазон. Якщо розрахункове значення n перевищує верхню межу діапазону, то воно зменшується до цієї межі.

У токарних верстатах з ЧПК в керувальній програмі можна задавати або частоту обертання шпинделя або швидкість різання. Задання швидкості різання є особливо зручним для точіння ступінчастих поверхонь валів, торцевих поверхонь фланців тощо.

Швидкість різання для всіх видів шліфування, згідно з [25], можна брати в межах 30...35 м/с. Для круглошліфувальних, безцентровошліфувальних та плоскошліфувальних верстатів частоту обертання шліфувального шпинделя можна не визначати, оскільки у цих типів верстатів вона зазвичай не регулюється. Для таких верстатів за нормативами визначається колова швидкість заготовки (в м/хв) і потім, за формулою (22), — частота обертання шпинделя бабки заготовки.

Визначення потужності різання

Потужність різання (cutting power) визначається за нормативами або розрахунково-аналітичним методом після остаточного визначення глибини різання, подачі, швидкості різання (частоти обертання шпинделя), ширини фрезерування та інших показників.

Для зменшення обсягу роботи потужність різання визначають тільки для робочих ходів чорнової обробки найширших площин і головних отворів, тобто робочих ходів з найбільшою глибиною різання і найбільшою шириною фрезерування, оскільки верстат для певної операції вибирається за робочим ходом, що характеризується найбільшою потужністю різання. Визначивши потужність різання N_p , зіставляють її з потужністю N_B , яку може забезпечити електродвигун приводу головного руху верстата, тобто перевіряють виконання умови

$$N_p \leq \eta \cdot N_B, \quad (23)$$

де η — ККД приводу головного руху верстата (в середньому $\eta = 0,8 \dots 0,85$).

Якщо умова (23) не забезпечується, то для виконання операції вибирають більший за потужністю верстат, або ж змінюють режими обробки.

Визначення розрахункової довжини робочого ходу інструмента

Розрахункова довжина L робочого ходу інструмента потрібна для визначення основного часу операції як загального часу виконання всіх робочих ходів. Величина L залежить від довжини оброблюваної поверхні, величин врізання і перебігу та інших параметрів заготовки та інструмента. Формули для визначення L для поширених способів обробки, а також кількісні значення параметрів, що входять до цих формул, наведені в [13, глава 17].

Визначення основного машинного часу (часу виконання робочих ходів)

Розрахунок основного машинного часу (часу виконання робочих ходів) T_0 рекомендується виконувати за допомогою точних формул, які наведені в [5, додаток Є, таблиця Є.1, стовпець 3].

Під час виконання попередніх розрахунків, наприклад під час порівняння маршрутів механічної обробки за мінімумом приведених витрат, визначати T_0 можна з використанням наближених формул [5, додаток Є, таблиця Є.1, стовпець 5].

Література — [21, С. 146—148], [25, С. 261—300].

4.5. Основи технічного нормування

Відповідно до ГОСТ 3.1109—82 *норма часу (time rate)* — це регламентований час виконання певного обсягу робіт у певних виробничих умовах одним або декількома робітниками відповідної кваліфікації. Таким чином, технічною нормою часу є час (в хвиликах), який відводиться на виконання конкретної операції за певних організаційно-технічних умов з найефективнішим використанням всіх засобів виробництва з урахуванням передового виробничого досвіду.

Під час проектування чи модернізації технологічних процесів механічної обробки деталей та складання машин визначається час на виконання кожної з операцій (у хвиликах).

Таким чином, норма часу операції визначає його затрати на виконання цієї операції і є основою для оплати праці, а також для визначення собівартості деталі і виробу, розрахунку необхідної кількості робітників, одиниць обладнання, інструментів та верстатних пристроїв.

У серійному виробництві нормою часу операції є штучно-калькуляційний час; в масовому виробництві — штучний час.

Штучно-калькуляційний час $T_{ш-к}$ розраховується за формулою

$$T_{ш-к} = T_{ш} + \frac{T_{п-з}}{n},$$

де $T_{ш}$ — штучний час; $T_{п-з}$ — підготовчо-завершальний час; n — кількість заготовок у партії.

Штучний час визначається за формулою

$$T_{ш} = T_о + T_д + T_{об} + T_{відп},$$

де $T_о$ — основний час, хв.; $T_д$ — допоміжний час; $T_{об}$ — час обслуговування робочого місця; $T_{відп}$ — час на особисті потреби й відпочинок робітника.

З плином *основного часу (basic time)* відбуваються зміни розмірів, форми, шорсткості заготовки та інших якісних показників предмета праці. Для верстатних робіт основний час (у хвиликах) визначається як відношення величини шляху, пройденого різальним інструментом, до його хвилинної подачі.

Для точіння і розточування циліндричних поверхонь основний час визначається за формулою

$$T_о = \frac{L \cdot k}{n \cdot s_о},$$

де $L = l + l_1 + l_2$; l — довжина оброблюваної поверхні, мм; l_1 — довжина врізання інструмента, мм; l_2 — довжина перебігу інструмента, мм; n — частота обертання шпинделя, об/хв; s_0 — подача, мм/об; k — кількість робочих ходів.

Для свердлильних робіт

$$T_0 = \frac{L}{n \cdot s_0} .$$

Для фрезерних робіт

$$T_0 = \frac{L}{s_{\text{ХВ}}} ,$$

де $s_{\text{ХВ}}$ — подача, мм/хв.

Для інших способів механічної обробки основний час можна визначити за формулами, які наведені в [5] (додаток Є, таблиця Є.1, стовпець 3).

Довжина оброблюваної поверхні визначається за кресленням деталі; довжина врізання l_1 та перебігу l_2 — за нормативами.

Для фрезерних робіт, які виконуються торцевою фрезою, величини l_1 та l_2 можна визначити з урахуванням ширини фрезерування та діаметра фрези за допомогою геометричних побудов і розрахунків.

Якщо процес обробки здійснюється тільки верстатом без безпосередньої участі робітника, то основний час буде *машинно-автоматичним*; якщо ж обробка здійснюється з безпосередньою участю робітника, то цей час буде *машинно-ручним*.

Якщо операція складається з декількох переходів, то норма основного часу на таку операцію визначається за формулою

$$T_0 = \sum_{i=1}^n T_{0_i} ,$$

де T_{0_i} — основний час на виконання i переходу; n — кількість переходів в операції.

З плином *допоміжного часу (auxiliary time)* робітник виконує дії, в результаті яких не відбувається якісних змін предмета праці, але ці дії необхідні для підготовки таких змін. У допоміжний час входять:

- час на встановлення заготовки у верстатний пристрій та її знімання;
- час на керування верстатом і змінювання режимів його роботи;
- на встановлення інструмента в робочу позицію, наприклад, на повертання різцетримача чи револьверної головки;
- час на контрольні вимірювання в ході виконання операції або після її завершення.

Тривалість дій, які входять до допоміжного часу, визначаються за нормативами [16, 17].

В технічному нормуванні використовується також поняття оперативного часу, який визначається за формулою

$$T_{\text{оп}} = T_{\text{о}} + T_{\text{д}}.$$

Час обслуговування робочого місця (workplace maintenance time) є частиною штучного часу, що витрачається робітником на підтримання обладнання та інструменту у працездатному стані, догляд за ними і робочим місцем. Цей час поділяють на час технічного обслуговування робочого місця і час організаційного обслуговування робочого місця, тобто $T_{\text{об}} = T_{\text{т.об}} + T_{\text{о.об}}$.

Час технічного обслуговування робочого місця (workplace operational maintenance time) витрачається робітником на догляд за робочим місцем під час виконання роботи. Сюди входять:

- час на піднастроювання інструмента;
- час на заміну інструмента, що затупився;
- час на видалення стружки з робочої зони верстата.

Час організаційного обслуговування робочого місця (workplace organizational maintenance time) витрачається робітником на догляд за робочим місцем на початку і в кінці зміни; сюди входять:

- час на розкладання інструменту на початку зміни і його прибирання в шафу в кінці зміни;
- час на очищення верстата від стружки і його змащування в кінці зміни;
- час на огляд і пробне вмикання верстата.

В крупносерійному і масовому виробництві час технічного обслуговування робочого місця визначається у відсотках від основного часу за формулою

$$T_{\text{т.об}} = \frac{T_{\text{о}} P_{\text{т.об}}}{100},$$

а час організаційного обслуговування робочого місця визначається у відсотках від оперативного часу

$$T_{\text{о.об}} = \frac{T_{\text{оп}} P_{\text{о.об}}}{100},$$

де $P_{\text{т.об}}$ — відсоток від основного, що визначає час технічного обслуговування робочого місця; $P_{\text{о.об}}$ — відсоток від оперативного часу, що визначає час організаційного обслуговування робочого місця.

Час на відпочинок та особисті потреби робітника (time for a worker's rest and personal needs) є частиною штучного часу, яка передбачається для всіх видів робіт, крім безперервних. В крупносерійному і ма-

совому виробництві цей час визначається у відсотках від оперативного часу, тобто

$$T_{\text{відп}} = \frac{T_{\text{оп}} P_{\text{відп}}}{100},$$

де $P_{\text{відп}}$ – відсоток від оперативного часу, що визначає час на відпочинок та особисті потреби робітника.

В одиничному, дрібносерійному і середньосерійному виробництві величини $T_{\text{об}}$ і $T_{\text{відп}}$ як окремі складові норми штучного часу не визначаються. В нормативах наводиться сума цих двох складових у відсотках ($P_{\text{об.відп}}$) від оперативного часу. Таким чином, загальний час на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби робітника визначають за формулою

$$T_{\text{обс}} + T_{\text{відп}} = \frac{T_{\text{оп}} P_{\text{об.відп}}}{100}.$$

Підготовчо-завершальний час $T_{\text{п-з}}$ витрачається на: отримання інструментів, пристроїв і технологічної документації; ознайомлення з технологічною документацією, отримання інструктажу; налагодження обладнання і пристроїв, повернення на склад інструментів і пристроїв, здавання готової продукції тощо.

Підготовчо-завершальний час витрачається на всю партію і не залежить від кількості виробів у партії.

Норма підготовчо-завершального часу призначається за нормативами як сумарний час на всі дії робітника з підготовки певного робочого місця до обробки партії заготовок.

Експериментальна перевірка правильності розрахунку норми часу виконується за допомогою хронометражу.

Хронометраж (timing) — це спостереження, яке виконується для визначення витрат часу на виконання циклічних операцій, тобто таких операцій, що періодично повторюються.

Цілями хронометражу є:

- встановлення норм часу й отримання даних для розроблення трудових нормативів;
- розроблення та впровадження ефективних прийомів праці;
- перевірка правильності використовуваних норм часу;
- з'ясування причин невиконання норм окремими робітниками;
- удосконалення організації виконання робіт.

В процесі виконання хронометражу вимірюють витрати часу за допомогою секундоміра.

Література — [11, С. 271—281], [26, С. 89—94].

4.6 Питання для самоконтролю

1. Поняття припуску на механічну обробку. Поняття проміжного та загального припусків.
2. Поняття напуску. Наведіть приклади напусків в заготовках деталей машин.
3. Вихідні дані для визначення проміжних припусків.
4. Які методи визначення припусків використовують в машинобудуванні?
5. Від яких факторів залежить мінімальний припуск на механічну обробку?
6. Чи залежать просторові відхилення оброблюваної поверхні заготовки відносно технологічних баз від схеми базування на першій операції механічної обробки?
7. Чим відрізняється визначення похибки встановлення як складової мінімального припуску від визначення похибки встановлення як складової сумарної похибки механічної обробки?
8. Як визначають проміжні технологічні розміри обробки циліндричних поверхонь?
9. З якою метою виконується розмірний аналіз технологічного процесу?
10. Що входить до вихідних даних для виконання розмірного аналізу технологічного процесу?
11. Основні етапи та їхня послідовність під час виконання розмірного аналізу технологічного процесу.
12. Як вибирається розташування технологічних розмірів на операціях механічної обробки?
13. Як визначається попереднє значення допуску технологічного розміру?
14. Що таке розмірна схема технологічного процесу і для чого вона будується?
15. Що таке суміщений граф і для чого він будується під час виконання розмірного аналізу технологічних процесів механічної обробки?
16. Послідовність призначення режимів різання.
17. Чим відрізняється призначення режимів різання для чистової обробки від призначення режимів різання для чорнової обробки?
18. Поняття норми часу. Складові штучно-калькуляційного часу.
19. Які дії робітника та обладнання унормовуються основним часом? Як він визначається?
20. Які дії робітника та обладнання унормовуються допоміжним часом? Як він визначається?
21. Які дії робітника унормовуються часом на обслуговування робочого місця? Як він визначається?
22. Які дії робітника унормовуються підготовчо-завершальним часом? Як він визначається?
23. Що таке хронометраж і з якою метою він виконується?

Розділ 5 ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ СКЛАДАННЯ МАШИН

Складання є завершальним етапом виробничого процесу виготовлення виробів і значною мірою визначає їх основні експлуатаційні властивості та випуск у заплановані терміни.

На сьогодні трудомісткість складальних робіт у машинобудуванні становить 25...35% від загальної трудомісткості виготовлення виробів. В одиничному і дрібносерійному виробництві через значний обсяг припасовувальних робіт трудомісткість складання може досягати 40%. Згідно із [21] у приладобудуванні, електро- і радіотехнічній промисловості трудомісткість складання становить 40...50%.

5.1 Основні поняття технологічного процесу складання

Технологічний процес складання (assembly process) є частиною виробничого процесу і передбачає виконання сукупності дій з встановлення складових частин виробу і утворення між ними з'єднань (ГОСТ 23887—79).

З'єднання можуть бути рухомими або нерухомими, рознімними або нерознімними.

Рухомі з'єднання деталей використовують в машинах для утворення кінематичних пар. *Нерухомі з'єднання* забезпечують незмінність деталей відносного положення деталей і складальних одиниць в процесі роботи машини.

Розрізняють такі види з'єднань:

- рухомі рознімні;
- рухомі нерознімні;
- рухомі рознімні;
- рухомі нерознімні.

Рознімні з'єднання дозволяють розбирання попередньо з'єднаних і скріплених деталей без їх пошкодження. Відповідно *нерознімні з'єднання* — такі, роз'єднання яких спричиняє пошкодження або руйнування деталей.

До *нерухомих рознімних з'єднань* належать: кріпильні різьбові, шпонкові, штифтові, гладкі циліндричні з'єднання з перехідними посадками.

До *нерухомих нерознімних з'єднань* належать з'єднання, які отримують посадкою з гарантованим натягом, розвальцьовуванням, відбортовуванням, зварюванням, клепаанням, паянням, склеюванням.

До *рухомих рознімних з'єднань* належать гладкі циліндричні з'єднання які отримують посадкою з гарантованим зазором, з'єднання типу «гвинт — гайка», з'єднання шліцьового вала із зубчастим блоком коробки передач.

Рухомі нерознімні з'єднання забезпечують відносний рух деяких деталей, але не можуть бути розібраними без пошкоджень. Такі з'єднання використовують, наприклад, в підшипниках кочення, втулково-роликівих ланцюгах, запірних кранах.

5.2 Мета і основні етапи проектування технологічних процесів складання машин

Як і технологічні процеси механічної обробки, технологічні процеси складання машин розробляють під час проектування нових або модернізації наявних виробничих структур, а також під час запуску у виробництво нових виробів на діючих підприємствах.

Метою проектування технологічного процесу складання є забезпечення:

- проектної якості виробів;
- якомога меншої їх собівартості;
- запланованого обсягу випуску.

Основною задачею технологічних розробок є надання детального опису процесу складання виробу, визначення необхідних засобів виробництва, площ, кількості робітників, трудомісткості та собівартості складання виробу.

Проектування технологічного процесу складання зазвичай містить такі основні етапи.

1. Формування і аналіз вихідних даних.
2. Аналіз конструкції і технологічності виробу. Перевірка правильності вибраних конструктором методів забезпечення точності ланок замикання.
3. Розробка технологічних схем складання.
4. Попередня розробка технологічного маршруту складання. Встановлення типу виробництва.
5. Вибір організаційної форми складання.
6. Розробка маршрутної технології складання.
7. Нормування складальних операцій.
8. Оформлення технологічної документації.

5.3 Вихідна інформація для проектування технологічного процесу складання

Вихідну інформацію для проектування технологічних процесів складання поділяють на:

- базову;
- керувальну;
- довідкову.

Базова інформація охоплює:

- складальне креслення виробу і його вузлів;
- специфікації до всіх складальних креслень;
- креслення деталей;
- технічні умови приймання виробу;
- річну програму випуску виробу;
- тривалість виготовлення виробу.

До керувальної інформації входять:

- вимоги галузевих та державних стандартів до технологічних процесів складання;

- виробничі інструкції;

- керівні матеріали з безпеки життєдіяльності та промислової санітарії.

Довідкова інформація охоплює:

- комплекти технологічної документації на наявні технологічні процеси складання подібних виробів;

- каталоги і паспорти обладнання та оснащення, довідкову, технічну і наукову літературу.

Для проектування технологічних процесів на діючих підприємствах необхідно мати інформацію про наявне складальне обладнання, технологічне оснащення, виробничі площі складальних цехів тощо. Крім того, потрібно знати, які складові частини виробу надходять від підприємств-суміжників і умови їх постачання.

5.4 Аналіз конструкції і технологічності виробу

Складальне креслення виробу повинно містити проекції і розрізи, які дають повну уяву про будову виробу. На кресленні мають бути показані габаритні розміри, посадки та інші розміри, забезпечувані під час складання. В технічних умовах, за необхідності, вказують вимоги до точності складання, способи виконання з'єднань, вимоги до їхньої герметичності, моменти затягнення різьбових з'єднань, методи контролю виробу тощо.

На основі аналізу складальних креслень технолог може пропонувати певні зміни в конструкції виробу, спрямовані на спрощення складання. Ці зміни можуть бути реалізовані тільки за узгодженням з конструктором виробу.

Розробляючи складальне креслення виробу, конструктор вибирає методи забезпечення точності ланок замикання всіх розмірних ланцюгів. Технолог перевіряє прийняті рішення. Вони можуть бути змінені за узгодженням з конструктором, якщо технолог запропонує більш раціональний для конкретних технологічних умов метод складання.

5.5 Розробка технологічних схем складання

Аналіз виробу, який підлягає складанню, завершується розробкою технологічних схем загального складання (**general assembly**) і вузлового складання (**component assembly**). Об'єктом загального складання є машина, а об'єктом вузлового складання — вузли машини. Розробка технологічних схем складання (**assembly process flow diagram**) є першим етапом проектування технологічного процесу. Ці схеми (рис. 41) наочно відображають маршрут складання виробу та його частин.

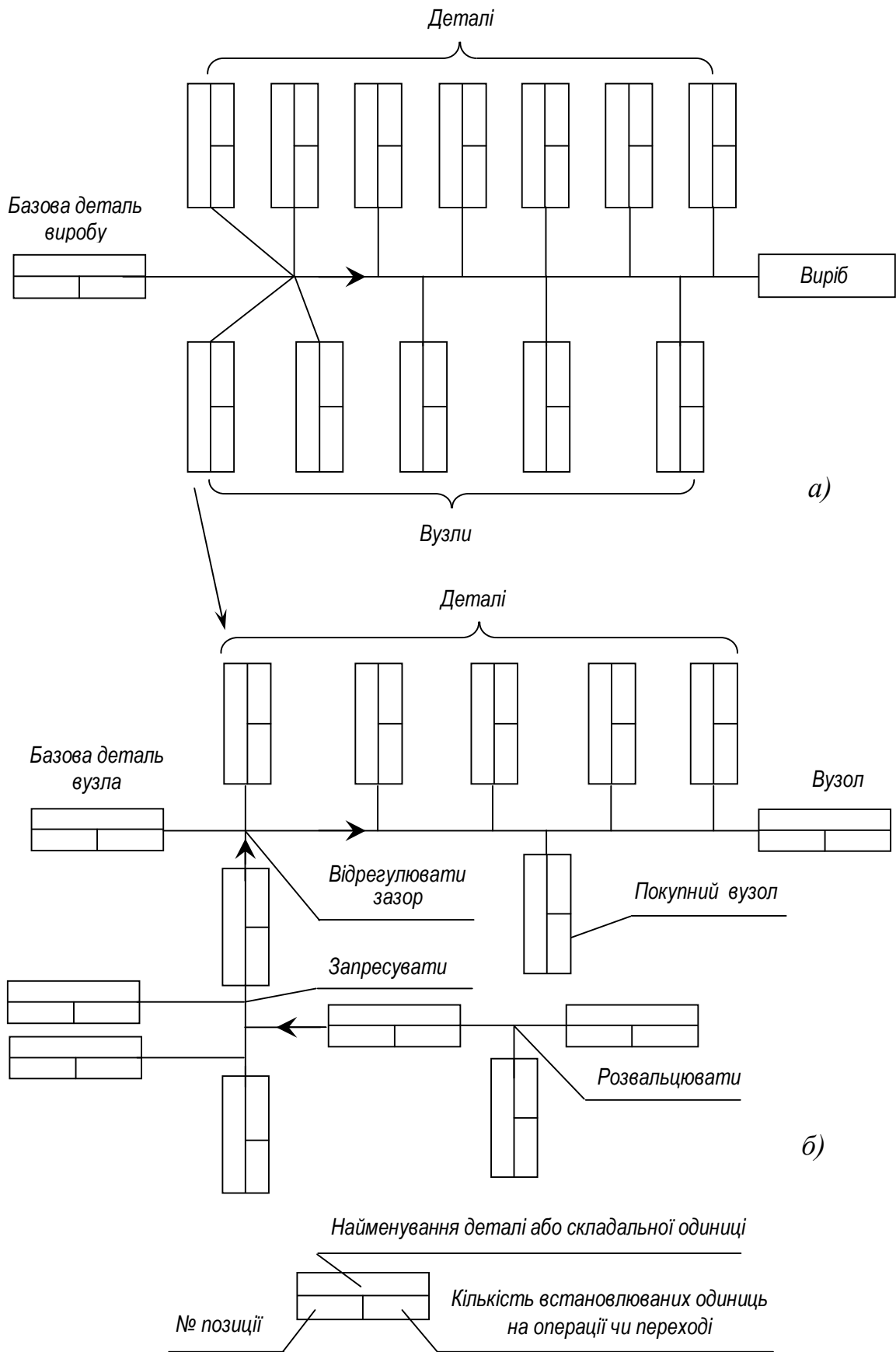


Рисунок 41 — Технологічні схеми складання: *а* — загального; *б* — вузлового

Технологічні схеми складання розробляють на основі складальних креслень виробу. Під час визначення послідовності складання аналізують розмірні ланцюги виробу. Якщо виріб має декілька розмірних ланцюгів, то складання слід починати з найвідповідальнішого ланцюга. В кожному з ланцюгів складання завершують встановленням тих елементів з'єднання, які утворюють його ланку замикання.

Спочатку розробляють схеми загального складання, потім схеми вузлового складання.

5.6 Попередня розробка технологічного маршруту складання. Встановлення типу виробництва

На основі технологічних схем загального і вузлового складання попередньо формують зміст технологічних і допоміжних операцій. Зміст складальних операцій встановлюють так, щоб на кожному робочому місці виконувалась однорідна за своїм характером і технологічно завершена робота. Це сприяє кращій спеціалізації робітників-складальників і підвищенню продуктивності їх праці. Після цього визначають темп загального і вузлового складання за формулою

$$t = \frac{60F}{N},$$

де F — дійсний фонд часу роботи обладнання (річного, за зміну або за інший період часу); N — випуск виробів в штуках за той же період.

Згідно з [18] величина дійсного річного фонду роботи обладнання для одно-, дво- і тризмінної роботи складає, відповідно: 2030, 4015 і 5965 годин.

За темпом складання визначають тип виробництва. Для цього за нормативами наближено визначають тривалість декількох характерних операцій. Якщо темп суттєво перевищує середньоарифметичне значення тривалості цих операцій, то технологічний процес складання має відповідати серійному виробництву. У цьому випадку на кожному робочому місці періодично (партиями) складатимуться прикріплені до нього різні вироби.

Якщо темп складання близький до середньої тривалості операцій, то технологічний процес складання має відповідати масовому виробництву. У цьому випадку складання виконують потоковим методом.

5.7 Вибір організаційної форми складання

Організаційну форму складання вибирають з урахуванням вихідних даних, визначених попередньо методів забезпечення точності ланок замикання, типу виробництва, розмірів і маси виробу, програми і термінів випуску. Схема можливих організаційних форм складання показана на рис. 42.

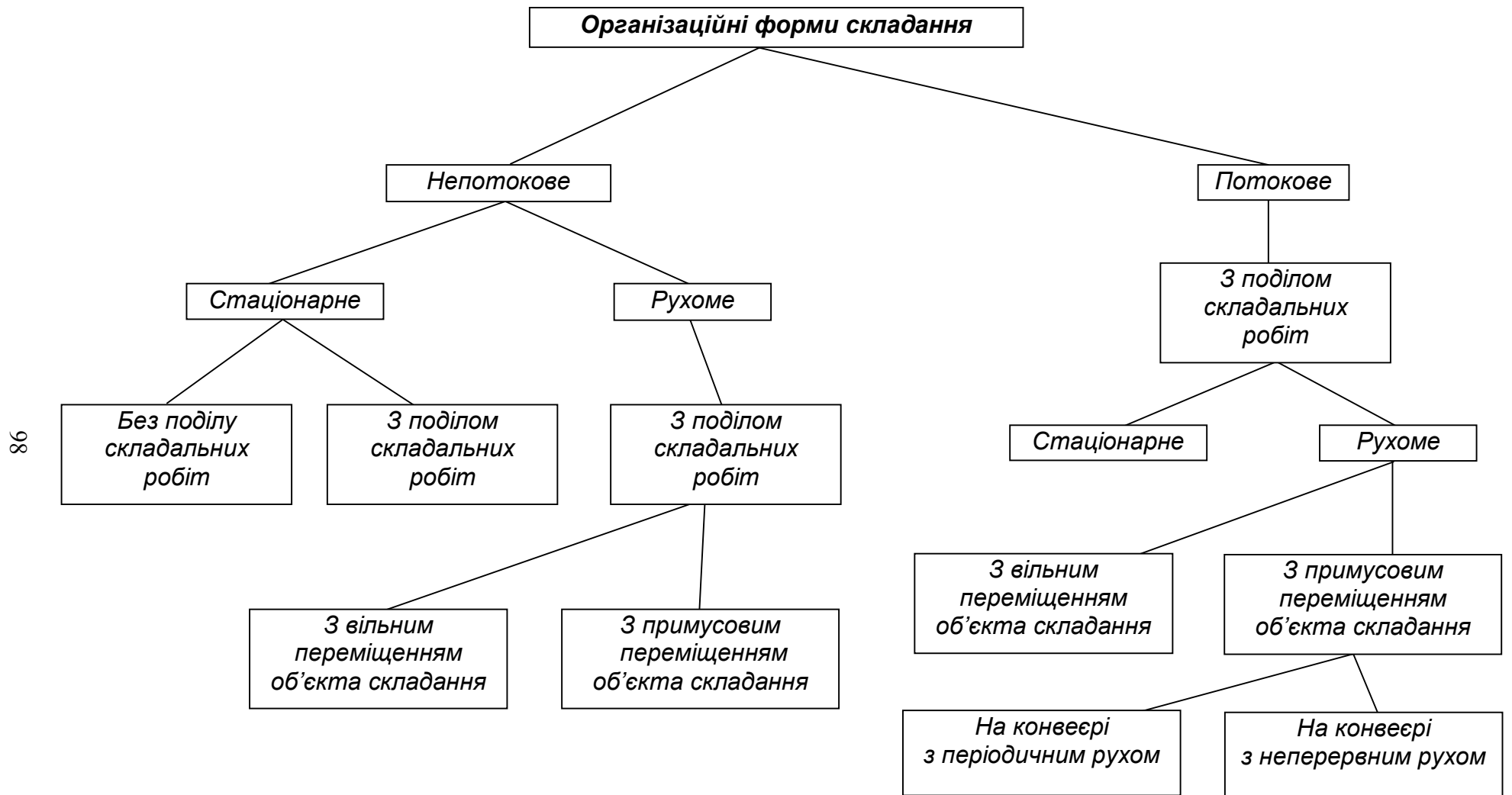


Рисунок 42 — Організаційні форми складання

Потокове складання (progressive assembly) передбачає виконання кожної з операцій за однаковий проміжок часу — *такт*, або за проміжок часу, кратний такту. Таким чином, у поточковому складанні забезпечується *синхронізація* операцій.

Непотокове складання (unprogressive assembly) не потребує забезпечення синхронізації операцій.

Під час *стаціонарного складання (stationary assembly)* весь технологічний процес виконується на одному місці.

Під час *рухомого складання (movable assembly)* об'єкт, що складається, переміщується від одного робочого місця до іншого.

Під час *складання з поділом складальних робіт (assembling with division of assembly operations)* технологічний процес поділяється на операції, кожна з яких виконується робітником чи бригадою робітників.

Під час *складання без поділу складальних робіт (assembling without division of assembly operations)* весь технологічний процес виконується одним робітником чи бригадою робітників від початку до кінця.

Той чи інший варіант організаційної форми складання конкретного виробу вибирають на основі розрахунків собівартості виконання складання з урахуванням термінів підготовки виробництва та його оснащення необхідним обладнанням.

Організаційні форми складання встановлюють окремо для загального і вузлового складання. В загальному випадку ці форми можуть бути різними.

5.8 Розробка маршрутної технології складання

Розробка маршрутної технології складання передбачає визначання послідовності змісту технологічних і допоміжних операцій.

Послідовність складання встановлюють відповідно до попередньо розроблених технологічних схем складання.

Зміст операцій встановлюють з урахуванням типу виробництва і темпу складання.

В масовому виробництві зміст кожної з операцій має бути таким, щоб їх тривалість приблизно дорівнювала темпу складання або була кратна йому. Тривалість операцій визначають наближено за нормативами з подальшим уточненням.

В серійному виробництві вироби виготовляються і, відповідно, складаються періодично змінюваними партіями. Тому зміст складальних операцій вибирають таким, щоб забезпечити достатнє завантаження кожного з робочих місць.

5.9 Нормування складальних операцій

Норми часу на виконання кожної з операцій визначають після розробки маршрутної технології і встановлення структури та змісту операцій.

Норма штучного часу на операцію визначається за формулою

$$T_{\text{ш}} = T_{\text{оп}} \left(1 + \frac{A_{\text{обс}} + A_{\text{відп}}}{100} \right) K,$$

де $T_{\text{оп}} = T_{\text{о}} + T_{\text{д}}$ — оперативний час на операцію; $T_{\text{о}}$ — основний час; $T_{\text{д}}$ — допоміжний час; $A_{\text{обс}}$ — час на обслуговування робочого місця (в процентах від оперативного часу); $A_{\text{відп}}$ — час на відпочинок і природні потреби (в процентах від оперативного часу); K — поправковий коефіцієнт на оперативний час, який враховує кількість прийомів, виконуваних робітником.

Нормування складальних робіт виконується за нормативами часу на слюсарно-складальні роботи [32].

Штучний час є нормою часу на виконання операції в масовому виробництві, тобто в умовах потокового складання.

В серійному виробництві вироби складаються партіями, тому нормою часу на операцію є штучно-калькуляційний час, який визначається за формулою

$$T_{\text{ш-к}} = T_{\text{ш}} + \frac{T_{\text{п-з}}}{n},$$

де $T_{\text{ш}}$ — штучний час; $T_{\text{п-з}}$ — підготовчо-завершальний час; n — кількість виробів у партії.

Підготовчо-завершальний час використовується робітником на підготовку робочого місця до складання відповідної партії виробів.

5.10 Випробування машин

Випробування машин (testing of machines) є завершальною стадією їх виготовлення. Відповідно до ГОСТ 16504—84 *під випробуванням розуміють експериментальне визначення значень параметрів показників якості продукції в процесі функціонування або під час імітації умов експлуатації, а також в процесі відтворення певних дій на продукцію за заданою програмою.*

Розрізняють контрольні і спеціальні (або дослідні) випробування.

Контрольні випробування (control tests) — це випробування, які проводяться для контролю якості продукції. Основним видом контрольних випробувань машин є приймально-здавальні випробування під якими розуміють випробування готових машин, що виконуються виробником для прийняття рішення щодо придатності їх до відправки замовнику або до використання.

Приймально-здавальні випробування (acceptance tests) зазвичай передбачають такі етапи:

1. *Перевірка виробу в статичному стані.* Перевіряються: показники геометричної точності; жорсткість (для металорізальних верстатів); плав-

ність переміщення рухомих вузлів в ручному режимі; якість складання електрообладнання тощо;

2. *Перевірка виробу на холостому ході.* Перевіряються: правильність функціонування механізмів і систем; витрати енергії на холостий хід; рівень шуму і вібрацій; температура нагріву підшипників відповідальних вузлів. Випробування виробу на холостому ході здійснюють на різних режимах згідно з програмою випробувань;

3. *Перевірка виробу під навантаженням.* Перевіряються: безвідмовність роботи всіх механізмів і систем машини за умови навантаження найбільш допустимими силовими факторами; якість роботи машини у виробничих умовах; експлуатаційні характеристики.

Спеціальні (дослідні) випробування (special (investigation) tests) — це випробування, які проводять за спеціальною програмою з метою вивчення впливу змін у конструкції виробу на його параметри і показники якості і придатності таких змін.

5.11 Питання для самоконтролю

1. Поняття технологічного процесу складання.
2. Які види з'єднань використовують в складальних одиницях?
3. У якій послідовності проектується технологічний процес складання машини?
4. Які початкові дані необхідні для проектування технологічного процесу складання?
5. Зміст аналізу конструкції і технологічності виробу.
6. Які методи забезпечення точності ланок замикання використовуються під час складання машин?
7. Для чого розробляють технологічні схеми складання?
8. Як визначається тип виробництва під час проектування технологічного процесу складання машин?
9. Що таке синхронізація складальних операцій?
10. Чим відрізняється потокове складання від непотокового?
11. На основі якого документа розробляють маршрутну технологію складання?
12. Який показник є нормою часу на виконання складальної операції в масовому виробництві?
13. Який показник є нормою часу на виконання складальної операції в серійному виробництві?
14. Послідовність і зміст етапів приймально-здавальних випробувань.

Література — [11, С. 437—480], [18, С. 293—304], [21, С. 307—325], [25, С. 304—314].

Розділ 6 ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

6.1 Поняття технічної підготовки виробництва. Зміст і мета технологічної підготовки виробництва

В склад виробничого процесу виготовлення певного виробу входять всі дії робітників і обладнання з виготовлення його деталей і складання, контролю якості, транспортування і зберігання, постачання і обслуговування робочих місць і дільниць, управління всіма ланками виробництва, а також всі роботи з технічної підготовки виробництва.

Технічна підготовка виробництва (technical preproduction) складається з:

- конструкторської підготовки виробництва;
- технологічної підготовки виробництва;
- календарного планування виробничого процесу.

Змістом *конструкторської підготовки виробництва (design preproduction)* є розробка конструкції виробу у відповідності з технічним завданням на його проектування з оформленням всіх необхідних конструкторських документів (креслень загального вигляду, складальних креслень, специфікацій, креслень деталей та ін.).

Відповідальною і найбільш трудомісткою складовою технічної підготовки виробництва є його технологічна підготовка. Згідно з [11], трудомісткість технологічної підготовки виробництва (в процентах від загальної трудомісткості технічної підготовки) складає:

- у дрібносерійному виробництві — 30...40%;
- у середньо- і крупносерійному виробництві — 40...50%;
- в масовому виробництві — 50...60%.

Технологічна підготовка виробництва (technological preproduction) передбачає:

- забезпечення технологічності конструкції виробу та його складових;
- розробка технологічних процесів виготовлення вихідних заготовок, механічної обробки; термічної обробки, складання та ін.;
- проектування і виготовлення засобів технологічного оснащення та обладнання (ливарних форм, штампів, прес-форм, спеціальних верстатних пристроїв, різального і допоміжного інструменту, складальних пристроїв, випробувальних стендів та ін.);
- управління процесом технологічної підготовки виробництва.

Метою технологічної підготовки виробництва є забезпечення:

- якості виробу відповідно до технічних умов;
- запланованого обсягу виготовлення виробів у встановлені терміни;
- найменшої собівартості виробу.

Задачею *календарного планування виробничого процесу (scheduling of production process)* є забезпечення виготовлення необхідної кількості виробів у встановлені терміни з заданою собівартістю.

6.2 Оформлення технологічних документів

Після розв'язання всіх задач проектування технологічного процесу, він має бути оформлений у відповідності з вимогами Єдиної системи технологічної документації (ЄСТД).

ЄСТД визначає єдині положення, правила і вимоги до розробки, виготовлення та використання технологічної документації. Основне призначення стандартів ЄСТД — встановлення в організаціях і на підприємствах однакових стандартних бланків (карт, форм) і встановлення однакових правил оформлення і обігу технологічних документів.

Технологічний документ (technological document) — це документ, який містить технологічне рішення і (або) технологічний процес у відповідності з встановленою формою.

До технологічних документів належать графічні та текстові документи, які окремо чи в сукупності визначають технологічний процес виготовлення або ремонту виробу і маршрут проходження його по службах підприємства.

Згідно з ГОСТ 3.1102—81* і ГОСТ 3.1404—86 в описі технологічних процесів можуть використовуватися 24 види технологічних документів. Сутність цих документів розглянута в [21]. В посібнику розглянемо лише ті документи, які найчастіше використовуються у навчальному процесі.

Титульний аркуш (title page) — документ, що визначає назву технологічного процесу або предмета праці і відомості про розробників.

Маршрутна карта (routing sheet) — документ, який містить опис технологічного процесу виготовлення або ремонту виробу з розподілом його на операції у технологічній послідовності їх виконання із зазначенням обладнання, оснащення, матеріальних і трудових нормативів у відповідності з встановленими формами.

Операційна карта (operation sheet) — документ, який містить опис технологічної операції з зазначенням змісту переходів, режимів обробки і відомостей про засоби технологічного оснащення.

Карта ескізів — документ, який містить ескізи, схеми, таблиці, необхідні для виконання технологічного процесу, операції, установка, позиції чи переходу виготовлення або ремонту виробу.

Карта налагоджень (setup sheet) — документ, який містить додаткову інформацію про вимоги щодо налагодження засобів технологічного оснащення на операції.

Карта кодування інформації — документ, який оформляється на операцію механічної обробки, що виконується на верстаті з ЧПК, і містить додаткову інформацію про операцію, а також зміст керувальної програми.

У кожному конкретному випадку можливе використання, крім означених вище, й інших технологічних документів, передбачених ГОСТ 3.1102—61.

В разі використання верстатів з ЧПК, зазвичай, оформляють такі до-

кументи: маршрутну карту (МК), операційну карту (ОК), карту налагоджень (КН), карту кодування інформації (ККІ).

Розробка технологічної документації на сьогодні найчастіше здійснюється за допомогою САПР «КОМПАС-АВТОПРОЕКТ».

В залежності від типу виробництва, який зумовлює різний рівень деталізації розробки технологічного процесу, в машинобудуванні використовуються такі типи описів технологічного процесу.

Маршрутний опис (routing description)— стислий опис всіх технологічних операцій в маршрутній карті в послідовності їх виконання без розкриття змісту переходів і технологічних режимів.

Операційний опис (operational description)— детальний опис всіх технологічних операцій в послідовності їх виконання з розподілом операцій на переходи і відображенням змісту переходів і режимів обробки.

Маршрутно-операційний опис (routing-operational description) — є проміжним між маршрутним і операційним описами. Припускає в рамках одного комплексу документів використання маршрутних і операційних (зазвичай, на складні операції) карт.

Для маршрутного опису технологічного процесу основним документом є маршрутна карта, оскільки операційні карти не розробляються ні на одну з операцій. В маршрутній карті у цьому випадку описується весь технологічний процес від початку до кінця; при цьому відображається така інформація: номер цеху, номери, найменування і зміст всіх операцій (без розподілу на переходи), технологічне обладнання, трудозатрати. Маршрутний опис використовується переважно в одиничному і дрібносерійному виробництві.

Для операційного опису технологічного процесу маршрутна карта відіграє роль зведеного документа, оскільки у цьому випадку на кожну з операцій розробляється операційна карта. В маршрутній карті вказуються: номер цеху, номери, найменування всіх операцій, технологічне обладнання (модель верстата), трудозатрати. В операційних картах міститься детальний опис технологічної операції із зазначенням змісту переходів, режимів обробки, відомостей про обладнання і засоби технологічного оснащення. Кожна з операційних карт доповнюється картою ескізів. Операційний опис рекомендується для використання в середньосерійному, крупносерійному і масовому виробництві.

В маршрутно-операційному описі в маршрутній карті детально описуються ті операції, на які відсутня операційна карта. Зміст операцій, на які розроблені операційні карти, записується стисло, так, як і в операційному описі. Маршрутно-операційний опис технологічного процесу використовують в умовах дрібносерійного виробництва.

В навчальному процесі зазвичай використовується операційний або маршрутно-операційний описи технологічних процесів.

6.3 Питання для самоконтролю

1. Поняття технічної підготовки виробництва. Зміст і мета конструкторської підготовки виробництва.
2. Зміст і мета технологічної підготовки виробництва.
3. До якої частини технічної підготовки виробництва слід віднести роботи з конструювання технологічного оснащення?
4. До якої частини технічної підготовки виробництва слід віднести аналіз технологічності конструкції виробу?
5. Види описів технологічних процесів.
6. Суть маршрутного опису технологічного процесу. Використання яких основних технологічних документів передбачає цей опис?
7. Суть маршрутно-операційного описання технологічного процесу. Використання яких основних технологічних документів передбачає це описання?
8. Суть операційного опису технологічного процесу. Використання яких основних технологічних документів передбачає цей опис?
9. Яку інформацію має містити карта ескізів? Для яких складових частин технологічного процесу оформляють ці карти?

Література — [19, С. 212—215], [21, С. 359—372].

ЛІТЕРАТУРА

1. Балакшин Б. С. Основы технологии машиностроения / Б. С. Балакшин. — М. : Машиностроение, 1969. — 558 с.
2. Балабанов А. Н. Технологичность конструкций машин / А. Н. Балабанов. — М. : Машиностроение, 1987. — 336 с.
3. Горбацевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. — Минск : Вышэйшая школа, 1983. — 256 с.
4. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : навчальний посібник / О. В. Дерібо — Вінниця : ВНТУ, 2013. — 125 с.
5. Дерібо О. В. Технологія машинобудування. Курсове проектування : навчальний посібник. / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, В. П. Пурдик. — Вінниця : ВНТУ, 2013. — 123 с.
6. Дерібо О. В. Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин. Частина 1 : практикум / Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Репінський С. В. — Вінниця : ВНТУ, 2010. — 114 с.
7. Крагельский И. В. Основы расчётов на трение и износ / Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. — М. : Машиностроение, 1977. — 526 с.
8. Кирилович В. А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПУ. / В. А. Кирилович, П. П. Мельничук, В. А. Яновський ; під заг. ред. В. А. Кириловича. — Житомир : ЖІТІ, 2001. — 600 с.
9. Колесов И. М. Основы технологии машиностроения : учебник для машиностроительных специальностей вузов / Колесов И. М. — М. : Высшая школа, 2001. — 591 с.
10. Комиссаров В. И. Точность, производительность и надежность в системе проектирования технологических процессов / В. И. Комиссаров, В. И. Леонтьев. — М. : Машиностроение, 1985. — 224 с.
11. Маталин А. А. Технология машиностроения : учебник для машиностроительных специальностей вузов / Маталин А. А. — Л. : Машиностроение, 1985. — 496 с.
12. Маталин А. А. Технология механической обработки / Маталин А. А. — Л. : Машиностроение, 1985. — 464 с.
13. Обработка металлов резанием. Справочник технолога. / [Панов А. А., Аникин В. В., Бойм Н. Г. и др.] ; под общ. ред. А. А. Панова. — М. : Машиностроение, 1988. — 736 с.
14. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования: Серийное производство. — М. : Машиностроение, 1974. — 421 с.
15. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых

станках с программным управлением. Часть I. Нормативы времени. — М. : Экономика, 1990. — 206 с.

16. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с программным управлением. Часть II. Нормативы режимов резания. — М. : Экономика, 1990. — 473 с.

17. Орлов П. И. Основы конструирования. Справочно-методическое пособие в 3-х книгах. Кн. 2. / Орлов П. И. — М. : Машиностроение, 1977. — 574 с.

18. Основы технологии машиностроения / [Кован В. М., Корсаков В. С., Косилова А. Г. и др.] ; под ред. В. С. Корсакова. — М. : Машиностроение, 1977. — 416 с.

19. Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении / [Бабук В. В., Шкред В. А., Кривко Г. П., Медведев А. И.] Под ред. В. В. Бабука. — Минск : Вышэйшая школа, 1987. — 255 с.

20. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвёрдыми и керамическими материалами, и их применение. Справочник / [Жедь В. П., Боровский Г. В., Музыкант Я. А и др.] — М. : Машиностроение, 1987. — 320 с.

21. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні / П. О. Руденко. — К. : Вища школа, 1993. — 414 с.

22. Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения / [Аверченков В. И., Горленко О. А., Ильицкий В. Б. и др.] ; под ред. О. А. Горленко. — М. : Машиностроение, 1988. — 192 с.

23. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1 / [Антипов К. Ф., Горбунов Б. И., Калашников С. Н. и др.] ; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. — М. : Машиностроение, 1972. — 694 с.

24. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1 / [Борисов В. Б., Борисов Е. И., Васильев В. Н. и др.] ; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. — М. : Машиностроение, 1985. — 656 с.

25. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 2 / [Абрамов Ю. А., Андреев В. Н., Горбунов Б. И. и др.] ; под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. — М. : Машиностроение, 1985. — 496 с.

26. Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин : лабораторний практикум / [Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Мироненко О. М. та ін.]. — Вінниця : ВНТУ, 2006. — 119 с.

27. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения : ГОСТ 21495—76. — [Чинний від 1977-01-01] — М. : Изд-во стандартов, 1987. — 35 с.

28. Опоры, зажимы и установочные устройства. Графические обозначения : ГОСТ 3.1107—81 — [Чинний від 1982-07-01] — М. : Изд-во стандартов, 2003. — 10 с.

29. Единая система технологической документации. Правила записи операций и переходов. Обработка резанием : ГОСТ 3.1702—79 — [Чинний від 1981-01-01] — М. : Изд-во стандартов, 2003. — 21 с.

30. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку : ГОСТ 26645—85. — [Чинний від 1987-07-01]. — М. : Изд-во стандартов, 1987. — 53 с.

31. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и размерные напуски : ГОСТ 7505—89. — [Чинний від 1990-07-06]. — М. : Изд-во стандартов, 1990. — 86 с.

32. Общемашиностроительные нормативы времени на слесарную обработку и слесарно-сборочные работы по сборке машин. Серийное производство. — М. : Машиностроение, 1974. — 219 с.

33. Косилова А. Г. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении / Косилова А. Г., Мещеряков Р. К., Калинин М. А. — М. : Машиностроение, 1976. — 288 с.

34. Харламов Г. А. Припуски на механическую обработку : справочник / Харламов Г. А., Тарапанов А. С. — М. : Машиностроение, 2006. — 256 с.

УКРАЇНСЬКО-АНГЛІЙСЬКИЙ СЛОВНИК НАЙУЖИВАНІШИХ ТЕРМІНІВ

- Автоколивання — self-oscillations
- Базова інформація — basic information
- Верстати високої продуктивності — highly-productive machine-tools
- Вимушені коливання — forced oscillations
- Випробування машин — testing of machines
- Вихідна заготовка — initial workpiece
- Вихідна інформація — initial information
- Вібраційне старіння — vibratory ageing
- Вібрація — vibration
- Вільні коливання — free oscillations
- Глибина різання — cutting depth
- Груповий технологічний процес — group manufacturing process
- Диференціація операцій — differentiation of operations
- Довідкова інформація — reference information
- Допоміжний час — auxiliary time
- Експлуатаційні властивості деталей машин — operational characteristics of machine parts
- Загальне складання — general assembly
- Загальний припуск — total allowance
- Залишкові напруження — residual stresses
- Карта налагоджень — setup sheet
- Календарне планування виробничого процесу — scheduling of production process
- Керувальна інформація — control information
- Конструкторська підготовка виробництва — design preproduction
- Контрольні випробування — control tests
- Концентрація операцій — concentration of operations
- Корозійна стійкість — corrosion resistance
- Маршрут обробки заготовки деталі — workpiece machining route
- Маршрутна карта — routing sheet
- Маршрутний опис — routing description

Маршрутно-операційний опис — routing-operational description
Напуск — overlap
Наклеп — cold-work hardening
Норма часу — time rate
Одиничний технологічний процес — single manufacturing process
Операційна карта — operation sheet
Операційний опис — operational description
Основний час — basic time
Поверхневий шар — surface layer
Подача — feed
Потокове складання — progressive assembly
Потужність — cutting power
Приймально-здавальні випробування — acceptance tests
Припуск — allowance
Природне старіння — natural ageing
Принцип постійності баз — the principle of constantly datum surfaces.
Принцип суміщення баз — the principle of overlapping datum surfaces
Проміжний припуск — intermediate allowance
Режими різання — cutting modes
Рівноважна шорсткість — equilibrium roughness
Розмірний аналіз технологічного процесу — dimensional analysis of a manufacturing process
Рухоме складання — movable assembly
Складання без поділу складальних робіт — assembling without division of assembly operations
Складання з поділом складальних робіт — assembling with division of assembly operations
Спеціалізоване робоче місце — specialized workplace
Спеціалізовані верстати — specialized machine-tools
Спеціальні верстати — special machine-tools
Спеціальні (дослідні) випробування — special (investigation) tests
Стаціонарне складання — stationary assembly
Технічне нормування — technical rate setting

Технологічна підготовка виробництва — technological preproduction
Технологічна схема складання — assembly process flow diagram
Технологічний процес механічної обробки — machining process
Технологічний процес складання — assembly process
Технологічні бази — processing datum surfaces
Технологічність машинобудівного виробу — manufacturability of an engineering product
Типовий технологічний процес — standard manufacturing process
Титульний аркуш — title page
Універсальні верстати — multipurpose machine-tools
Уніфікований технологічний процес — unified manufacturing process
Утомна міцність — fatigue strength
Усадка — shrinkage
Хронометраж — timing
Час на відпочинок та особисті потреби робітника — time for a worker's rest and personal needs
Частота обертання шпинделя — spindle rotation speed
Час обслуговування робочого місця — workplace maintenance time
Час організаційного обслуговування робочого місця — workplace organizational maintenance time
Час технічного обслуговування робочого місця — workplace operational maintenance time
Чистові технологічні бази — finishing datum surfaces
Чорнові технологічні бази — rough datum surfaces
Швидкість різання — cutting speed
Шорсткість поверхні — surface roughness
Штучне старіння — artificial ageing
Штучні технологічні бази — artificial datum surfaces

Навчальне видання

Дерібо Олександр Володимирович

ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

Частина 2

Навчальний посібник

Редактор В. Дружиніна

Оригінал-макет підготовлено О. Дерібо

Підписано до друку
Формат 29,7×42 ¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 7,1
Наклад 75 пр. Зам. № 2015 -

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.
ВНТУ, к. 2201.
Тел. (0432) 59-87-36.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-87-38.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.