



С. В. Ковалевський, С. Г. Онищук, Ю. Б. Борисенко

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ
ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ
І СКЛАДАННЯ МАШИН
У ВАЖКОМУ МАШИНОБУДУВАННІ**

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА)

**С. В. Ковалевський,
С. Г. Онищук,
Ю. Б. Борисенко**

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ
ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ
І СКЛАДАННЯ МАШИН
У ВАЖКОМУ МАШИНОБУДУВАННІ**

Навчальний посібник

Рекомендовано
Міністерством освіти і науки України

Затверджено
на засіданні вченої ради
Протокол № 4 від 29.11.2012

Краматорськ
ДДМА
2013

УДК 621.9(075)
ББК 34.5
Т 43

Рецензенти:

Драгобецький В.В., д-р техн. наук, професор, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського;

Кіяновський М. В., д-р техн. наук, професор, Криворізький національний університет;

Самотугін С. С., д-р техн. наук, професор, Приазовський державний технічний університет.

Рекомендовано
Міністерством освіти і науки України
(лист № 1/11-7156 від 17.04.13)

Т 43 Теоретичні основи технології виробництва деталей і складання машин у важкому машинобудуванні : навчальний посібник / С. В. Ковалевський, С. Г. Онищук, Ю. Б. Борисенко. – Краматорськ : ДДМА, 2013. – 179 с.
ISBN 978-966-379-644-4.

Навчальний посібник присвячений викладенню теоретичних основ технології машинобудування, їх використанню при проектуванні технологічних процесів механічної обробки і складання машин для умов важкого машинобудування.

Навчальний посібник розрахований на студентів технічних ВНЗ, що навчаються за освітньо-кваліфікаційним рівнем «Бакалавр» напряму підготовки «Інженерна механіка», також може бути корисний фахівцям, які займаються розробкою технології виробництва машин важкого машинобудування.

УДК 621.9(075)
ББК 34.5

© С. В. Ковалевський, С. Г. Онищук,
Ю. Б. Борисенко, 2013

© ДДМА, 2013

ISBN 978-966-379-644-4

ЗМІСТ

Вступ	5
1 ВИРОБНИЧИЙ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕСИ	7
1.1 Машина як об'єкт виробництва	7
1.2 Технологічна підготовка виробництва	8
1.3 Технологічна характеристика типів виробництва.....	10
1.4 Характеристика CALS-технологій та їх використання в технологічній підготовці виробництва	14
2 ЯКІСТЬ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ ВИРОБІВ	20
2.1 Якість виробів. Показники якості	20
2.2 Надійність виробів. Показники надійності	20
2.3 Технологічність виробів. Показники технологічності	23
3 БАЗУВАННЯ ТА БАЗИ В МАШИНОБУДУВАННІ..	36
3.1 Бази та опорні точки. Правило 6 точок	36
3.2 Класифікація баз	38
3.2.1 Класифікація баз за призначенням	38
3.2.2 Класифікація баз за степенями вільності, які віднімаються у деталі	41
3.2.3 Класифікація баз за характером виявлення	44
3.3 Призначення технологічних баз. Похибки базування	44
4 ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ	53
4.1 Точність у машинобудуванні та методи її досягнення	53
4.2 Систематичні похибки обробки	54
4.3 Випадкові похибки обробки	60
4.4 Вплив технологічної системи на точність та продуктивність обробки	70
4.5 Забезпечення точності механічної обробки	78
5 ЯКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	88
5.1 Основні поняття та визначення. Шорсткість поверхні	88
5.2 Деформаційне зміцнення металу поверхневого шару	91
5.3 Залишкові напруження поверхневого шару	92
5.4 Технологічні методи підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин. Технологічна спадковість	94
6 ПРИПУСКИ НА ОБРОБКУ ЗАГОТОВОК	98
6.1 Класифікація припусків	98
6.2 Методи визначення припусків на механічну обробку	101
7 ОСНОВИ ТЕХНІЧНОГО НОРМУВАННЯ	109
7.1 Методи нормування та класифікації витрат робочого часу	109
7.2 Структура норми часу	111
8 ПРОЕКТУВАННЯ ОДИНИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	114
8.1 Класифікація технологічних процесів	114
8.2 Проектування одиничних технологічних процесів	115

8.2.1	Визначення типу виробництва	117
8.2.2	Відпрацювання конструкції виробу на технологічність і технологічний контроль креслення	117
8.2.3	Вибір заготовок для деталей машин	118
8.2.4	Вибір способів обробки поверхонь і призначення технологічних баз	119
8.2.5	Складання технологічного маршруту обробки	121
8.2.6	Призначення припусків і уточнення креслення заготовки	124
8.2.7	Проектування технологічних операцій	124
8.2.8	Вибір устаткування і пристроїв	128
8.2.9	Вибір різального інструменту	130
8.2.10	Розрахунок параметрів режиму різання та нормування	131
8.2.11	Вибір економічного варіанту технологічного процесу	132
8.2.12	Технологічна документація	134
9	ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ МАШИН	136
9.1	Характеристика складальних процесів	136
9.2	Методи досягнення точності замикаючої ланки при складанні	141
9.3	Проектування технологічних процесів складання	145
10	ПРОЕКТУВАННЯ ТИПОВИХ ТА ГРУПОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	154
10.1	Розробка типових технологічних процесів	154
10.2	Розробка групових технологічних процесів	156
11	ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК	160
11.1	Галузь використання та технологічні можливості верстатів з ЧПК	160
11.2	Проектування технологічних процесів обробки на верстатах з ЧПК	165
	Перелік посилань	173
	Додаток А. Формули для визначення основного часу	175
	Предметний покажчик	178

ВСТУП

Технологія машинобудування – це наука про виготовлення машин потрібної якості в установленій виробничою програмою кількості та в задані терміни при найменшій собівартості.

Технологія машинобудування як наука створювалась працею багатьох вчених: А. П. Соколовського, В. М. Кована, Б. С. Балакшина, М. О. Бородачова, В. С. Корсакова, І. М. Колесова, А. О. Маталіна, Е. В. Рижова, Б. О. Кравченко, О. М. Суліми, А. М. Дальського, С. П. Мітрофанова, Б. М. Базрова, М. П. Новікова, А. П. Гавриша, Ю. М. Соломенцева, В. С. Худобіна, П. І. Ящерицина, А. Г. Сулова, Ю. В. Петракова, А. І. Грабченка, А. С. Зенкіна, О. М. Михайлова та багатьох інших.

Важке машинобудування характеризується широкою номенклатурою продукції і значними, а іноді й унікальними, розмірами і масою як окремих деталей, так і машин, що складаються. Ці особливості визначають основні положення організації виробництва й побудови технологічного процесу [19, 21].

Виготовлення продукції носить, в основному, одиничний, а іноді дрібносерійний характер. Цикл виготовлення тривалий, оскільки витрати часу на виготовлення крупних деталей складають сотні годин. Наявність у виробництві одночасно різних об'єктів ускладнює безперервний рух деталей і приводить до їх вимушеного складування в очікуванні тих або інших операцій. Крім того, на тривалість виготовлення машини впливає велика тривалість технічної підготовки виробництва.

Технологічний процес будується на принципі концентрації операцій, що є специфікою важкого машинобудування. Витрати допоміжного часу на установлення, вивіряння й закріплення деталей, що мають значні розміри й масу, складають чималу частину штучного часу. При виготовленні дрібних і середніх деталей використовуються, в основному, універсальні пристрої. У цих умовах зменшення числа установів прямо позначається на скороченні допоміжного часу. Концентрація операцій також позитивно впливає на скорочення тривалості виробничого циклу за рахунок зменшення міжопераційного складування, спрощення календарного планування.

Необхідність обробки різноманітних деталей зумовлює широку універсальність устаткування. Для обробки особливо крупних деталей, коли маса заготовки значно перевищує вантажопідйомність верстата, широко використовують переносні верстати. Переносні верстати також застосовують, якщо неможливо обробити яку-небудь поверхню на універсальному верстаті або необхідно звільнити дорогий унікальний верстат від чорнових операцій, оскільки використання крупних унікальних верстатів у важкому машинобудуванні різке збільшує собівартість деталей. В окремих випадках переносний верстат встановлюють безпосередньо на деталь.

Низький коефіцієнт оснащеності технологічних процесів у важкому машинобудуванні спеціальними пристроями через велику вартість великогабаритного оснащення призводить до установа деталей з вивірянням за розміткою по оброблених, а іноді і по необроблених поверхнях.

Обсяг розмічальних робіт у важкому машинобудуванні великий, і значущість цих робіт велика.

Заготовки обробляють, як правило, методом пробних ходів, що вимагає високої кваліфікації верстатників.

Зменшення циклу виробництва і трудомісткості виготовлення машин важкого машинобудування забезпечується наступними заходами:

- впровадженням типової технології на основі уніфікації і стандартизації деталей;

- використанням верстатів з ЧПК, особливо при виготовленні деталей складної форми;

- застосуванням універсального оснащення з механізованим закріпленням деталей;

- збільшенням концентрації операцій технологічних процесів, підвищенням технологічності конструкції деталей;

- створенням спеціалізованих цехів і ділянок із замкнутим циклом виробництва (наприклад, редукторний цех);

- впровадженням групових методів обробки, що сприяють підвищенню серійності виготовлення деталей і скороченню часу на переналагодження.

Навчальний посібник розрахований на студентів технічних вузів, що навчаються за освітньо-кваліфікаційним рівнем «Бакалавр» напряму підготовки «Інженерна механіка».

1 ВИРОБНИЧИЙ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕСИ

1.1 Машина як об'єкт виробництва

Об'єктами виробництва машинобудівної промисловості є різні машини [6, 9].

Машина – це механізм або сполучення механізмів, що здійснюють доцільні рухи для перетворення енергії або виконання робіт. Розрізняють два класи машин: машини-двигуни, за допомогою яких один вид енергії перетворюється в інший, придатний для використання, та робочі машини (машини-знаряддя), за допомогою яких виконується зміна форми, властивостей та положення об'єкту праці.

Машини, механізми й устаткування, їх агрегати або деталі в процесі виробництва їх на машинобудівному виробництві є виробами.

Виріб – це будь-який предмет або набір предметів виробництва, який необхідно виготовляти на підприємстві.

Розрізняють вироби основного та допоміжного виробництва. *До виробів основного виробництва* належать вироби, призначені для реалізації, а *до виробів допоміжного виробництва* – вироби, призначені тільки для власних потреб виробництва.

Установлюються наступні види виробів:

Деталь є виробом, виготовленим на даному підприємстві з однорідного матеріалу, без застосування складальних операцій (вал, гвинт, кришка та ін.).

Складальною одиницею (вузлом) називається виріб, складові частини якого необхідно з'єднувати між собою на підприємстві-виготовлювачі складальними операціями (згвинчуванням, зчленуванням, клепаанням, зварюванням, паянням, опресуванням, розвальцюванням, склеюванням, зшиванням, укладанням тощо), наприклад: верстат, автомобіль, редуктор та ін.

Комплексом називаються два і більше специфікованих вироби, не з'єднаних на підприємстві-виготовлювачі складальними операціями, але призначених для виконання взаємозалежних експлуатаційних функцій.

У комплекс крім виробів, що виконують основні функції, можуть входити деталі, складальні одиниці й комплекти, призначені для виконання допоміжних функцій.

Комплект – це два і більше вироби, не з'єднаних на підприємстві-виготовлювачі складальними операціями, які представляють набір виробів, що мають загальне експлуатаційне призначення допоміжного характеру (напр., комплект запасних частин, комплект інструменту і т. д.).

1.2 Технологічна підготовка виробництва

Виробничим процесом називається сукупність усіх дій людей, а також знарядь виробництва, необхідних на даному підприємстві для виготовлення чи ремонту виробів, які випускаються [6, 9].

При його здійсненні заготовки та напівфабрикати перетворюються на готову продукцію, що відповідає своєму службовому призначенню.

Виробничий процес охоплює: підготовку засобів виробництва й обслуговування робочих місць; одержання й зберігання матеріалів та напівфабрикатів; усі стадії виготовлення деталей машин; транспортування матеріалів, заготовок, деталей, складових частин і готових виробів; складання частин і виробів; технічний контроль, випробування й атестацію продукції на всіх стадіях виробництва; розбирання складальних одиниць (при потребі); виготовлення тари, упакування готової продукції та інші дії, пов'язані з виготовленням виробів, які випускаються.

Територія, необхідна для здійснення виробничого процесу, називається *виробничою площею*.

Календарний час, потрібний для здійснення періодично повторюваного виробничого процесу, називається *виробничим циклом*.

Раціональна організація виробничого процесу неможлива без проведення технічної підготовки виробництва.

Технічна підготовка виробництва (ТПВ) включає [9]:

1 *Конструкторську підготовку виробництва* (розробку конструкції виробу й створення креслень загального складання виробу, складальних елементів та окремих деталей, що запускаються у виробництво, з оформленням відповідних специфікацій та інших видів конструкторської документації).

2 *Технологічну підготовку виробництва*, тобто сукупність взаємопов'язаних процесів, що забезпечують технологічну готовність підприємств (або підприємства) до випуску виробів заданого рівня якості при установлених термінах, обсязі випуску та витратах.

До технологічної підготовки виробництва належать забезпечення технологічності конструкції виробу, розробка технологічних процесів, проектування та виготовлення засобів технологічного оснащення, управління процесом технологічної підготовки виробництва.

3 *Організаційно-економічну підготовку виробництва* (календарне планування виробничого процесу виготовлення виробу в установлені терміни, в необхідних обсягах випуску та витратах).

Трудомісткість технологічної підготовки виробництва складає 30–40 % (від загальної трудомісткості технічної підготовки) в умовах дрібносерійного виробництва, 40–50 % при серійному виробництві та 50–60 % при масовому виробництві.

Технологічним процесом (ТП) називається частина виробничого процесу, яка містить у собі дії, спрямовані на змінення й подальше визначення стану предмета виробництва [6, 9].

Завдання, що вирішується при розробці технологічних процесів:

- 1) аналіз вихідних даних;
- 2) підбір діючого типового, групового технологічного процесу або пошук аналогу одиничного процесу;
- 3) вибір заготовки та методів її отримання;
- 4) вибір технологічних баз;
- 5) складення технологічного маршруту обробки;
- 6) розробка технологічних операцій;
- 7) вибір засобів технологічного оснащення операцій;
- 8) розробка спеціалізованого оснащення, засобів контролю;
- 9) вибір засобів механізації та автоматизації;
- 10) призначення та розрахунок режимів обробки;
- 11) нормування технологічного процесу;
- 12) визначення вимог техніки безпеки;
- 13) розрахунок економічної ефективності ТП;
- 14) оформлення технологічних процесів.

Технологічний процес виконують на робочих місцях.

Робочим місцем називають елементарну одиницю структури підприємства, де розташовані виконавці роботи, технологічне обладнання, частина конвеєра, а на обмежений час – оснастка й предмети праці. Робоче місце – це ділянка виробничої площі, що обладнана відповідно з виконуваною роботою.

Технологічною операцією називається закінчена частина технологічного процесу, що виконується на одному робочому місці й охоплює всі послідовні дії робітника (чи групи робітників) і верстата з обробки заготовки (однієї чи кількох одночасно).

Установом називається закінчена частина технологічної операції, що виконується при незмінному закріпленні заготовки або складальної одиниці.

Позицією називається фіксоване положення, що займає заготовка (або складальна одиниця) разом з пристроєм відносно інструмента або нерухомої частини обладнання при виконанні частини операції.

Операція поділяється на переходи – технологічні й допоміжні.

Технологічний перехід – закінчена частина технологічної операції, що виконується одними й тими ж засобами технологічного оснащення при постійних технологічних режимах і установі.

Технологічна операція може бути організована на основі *концентрації або диференціації технологічних переходів*, що включаються в її структуру. При концентрації переходів структура операції включає максимально можливу в даних умовах кількість технологічних переходів. При диференціації переходів намагаються зменшити кількості переходів, що входять до технологічної операції.

Допоміжний перехід – закінчена частина технологічної операції, що складається з дій робітника і (або) обладнання, що не супроводжуються зміною форми, розмірів і шорсткості поверхні предмету праці, але необхідних для виконання технологічного переходу.

Перехід складається з робочих і допоміжних ходів.

Робочим ходом називається закінчена частина технологічного переходу, яка при одноразовому пересуванні інструмента відносно заготовки змінює її форму, розміри, шорсткість поверхні або властивості.

Допоміжний хід – закінчена частина технологічного переходу, що пов'язана з переміщенням інструмента відносно заготовки без будь-яких змін її форми, розмірів, шорсткості або властивостей, але необхідного для підготовки робочого ходу.

Прийом – закінчена сукупність дій робітника в процесі виконання переходу, об'єднаних одним цільовим призначенням.

1.3 Технологічна характеристика типів виробництва

Програма випуску виробів – це установлений для підприємства перелік виробів, що виготовляються або ремонтуються, із зазначенням обсягу випуску за кожним найменуванням за певний період часу.

Виробнича програма визначається за формулою

$$N = N_n \cdot m \cdot \left(1 + \frac{a}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{b}{100}\right),$$

де N_n – програмне завдання випуску виробів на рік;

m – кількість деталей, що приходяться на один виріб;

a – відсоток деталей, що йдуть на запасні частини (~10 %);

b – відсоток деталей, що йдуть на випробування, налагодження устаткування, брак (~2–6 %).

До виробничої програми додаються креслення загальних видів машини, креслення складальні й окремих деталей, специфікації деталей, а також опис конструкцій машин і технічні умови на їхнє виготовлення і здачу.

Тип виробництва можна охарактеризувати за *коефіцієнтом закріплення операцій*:

$$K_{30} = \frac{\Sigma O}{\Sigma P},$$

де ΣO – кількість різних операцій, що виконують протягом певного часу;

ΣP – кількість робочих місць з різними операціями.

Кількість операцій, закріплених за робочим місцем:

$$O = \frac{K_n}{K_3},$$

де K_n – нормативний коефіцієнт завантаження робочого місця всіма закріпленими за ним операціями (для дрібносерійного – $K_n = 0,8 \dots 0,9$, для серійного – $K_n = 0,75 \dots 0,85$, для масового та великосерійного виробництва – $K_n = 0,65 \dots 0,75$).

K_3 – коефіцієнт завантаження робочого місця операцією.

$$K_3 = \frac{T_{шт-к} N}{60 F_D K_B}.$$

Тоді

$$O = \frac{60 F_D K_B K_n}{T_{шт-к} N},$$

де F_D – дійсний фонд часу роботи обладнання при двозмінній роботі (річний або місячний), год;

K_B – середній коефіцієнт виконання норми, $K_B = 1,2 \dots 1,3$;

$T_{шт-к}$ – штучно-калькуляційний час виконання операції, хв;

N – програма випуску деталей (річна або місячна).

В машинобудуванні розрізняють три типи виробництва: одиничне, серійне, масове [9, 19].

Масове виробництво характеризується великим об'ємом випуску виробів, що безперервно виготовляються або ремонтуються протягом тривалого часу.

На більшості робочих місць виконується одна операція. Для масового виробництва $K_{30} = 1$. Продукція масового виробництва – вироби вузької номенклатури та стандартного типу (автомобілі, трактори, електродвигуни й т. ін.). Особливостями масового виробництва є: розташування обладнання в технологічній послідовності (за ходом технологічного процесу); виконання кожної технологічної операції здійснюється на попередньо налагодженому обладнанні, яке не переналагоджують для виконання інших операцій; використання спеціального обладнання та інших спеціальних засобів технологічного оснащення.

Серійне виробництво характеризується виготовленням або ремонтом виробів партіями, що періодично повторюються. У залежності від кількості виробів у партії або серії та значення K_{30} розрізняють великосерійне, середньосерійне й дрібносерійне виробництва. Для великосерійного виробництва $1 < K_{30} \leq 10$, для середньосерійного $10 < K_{30} \leq 20$ і дрібносерійного $20 < K_{30} \leq 40$.

Продукцією серійного виробництва є машини відповідного типу, що випускаються в значній кількості (металорізальні верстати, насоси, компресори й т. ін.)

У *великосерійному виробництві* обладнання розташовують за виготовлюваними предметами та в ряді випадків відповідно з виробничим процесом. Обробку заготовок виконують на попередньо налагоджених верстах, у межах технологічних можливостей яких допустиме переналагодження для виконання інших операцій. Використовують спеціальні, спеціалізовані й універсальні засоби технологічного оснащення (пристрої, інструмент і т. п.). Розмір виробничої партії складає декілька сотень деталей.

У *середньосерійному виробництві* (серійному) обладнання розташовують відповідно до послідовності виконання етапів обробки заготовок. За кожною одиницею обладнання закріплюють декілька технологічних операцій, для виконання яких виконують переналагодження обладнання. Використовують спеціалізовані й універсальні засоби технологічного оснащення. Розмір виробничої партії – від декількох десятків до сотень деталей.

У *дрібносерійному виробництві* обладнання розташовують за типами (ділянка токарних верстатів, ділянка фрезерних верстатів і т. ін.). Обладнання спеціально не налагоджують для виконання кожної технологічної операції. Використовують універсальні засоби технологічного оснащення. Розмір виробничої партії складає декілька одиниць.

Одиничне виробництво характеризується малим об'ємом випуску однакових виробів, повторне виготовлення та ремонт яких, як правило, не передбачене ($K_{zo} > 40$). Вироби випускаються широкої номенклатури у відносно малій кількості й часто індивідуально. Продукція одиничного виробництва – машини, що не мають широкого застосування і виготовляються за індивідуальним замовленням (великі гідротурбіни, прокатні стани, унікальні металорізальні верстати й т. ін.)

Технологічне обладнання розташовують за типами. На робочих місцях виконують різні операції без спеціального налагодження верстата. Використовують універсальне (загального призначення) технологічне оснащення [21].

У машинобудуванні використовують два методи роботи: *потоківий* та *непотоківий*.

Потокове виробництво характеризується розташуванням обладнання в послідовності виконання операцій технологічного процесу та визначеним інтервалом випуску виробів.

Інтервал часу, через який періодично відбувається випуск виробів або заготовок визначених найменувань, типорозміру та виконання, називається *тактом випуску* t_D :

$$t_D = \frac{60\Phi_D}{N},$$

де Φ_D – дійсний фонд часу в періоді, що планується (рік, місяць, доба, зміна), год;

N – обсяг випуску за цей же період, шт.

При потоковому методі основною організаційною формою роботи є потокова лінія. У потоковій лінії на кожному робочому місці виконують одну технологічну операцію, а обладнання розташовують за ходом ТП. На кожній лінії виконують обробку окремої деталі (складання окремого виробу або його складової частини). Робота на лінії, якщо тривалість операції на усіх робочих місцях однакова, виконується безперервним потоком. У загальному випадку умовою організації потоку є кратність часу виконання кожної технологічної операції такту випуску:

$$\frac{t_{шi}}{t_D} = k (k = 1, 2, 3, \dots),$$

де $t_{шi}$ – штучний час i -ї технологічної операції.

Приведення тривалості операцій до указаної умови називається *синхронізацією*. Для цього в деяких випадках здійснюють диференціацію операцій для зменшення часу їх виконання, тобто можливе навіть виділення технологічного переходу в окрему операцію.

Потокове виробництво використовується в масовому та великосерійному виробництвах.

Ритм випуску – кількість виробів (або заготовок) визначеного найменування, типорозміру та виконання, що випускається за одиницю часу.

Забезпечення ритму випуску є головним завданням при проектуванні ТП масового й великосерійного виробництва.

В умовах серійного виробництва використовують *змінно-потоківий метод*, при якому за кожним верстатом ділянки закріплено по декілька операцій для технологічно однотипних деталей, що запускаються у виробництво поперемінно. Після обробки протягом певного періоду (декілька змін) заготовок відповідного типорозміру, лінію (ділянку) переналагоджують для обробки заготовок іншого типорозміру. Обладнання розміщують за ходом ТП, рух деталей здійснюється від одного робочого місця до іншого, хоч і переривчастий (партиями), але поточковий (прямоточний). Таким чином, у межах однієї партії отримують безперервно-поточкове виробництво.

У серійному виробництві використовують багатоміністратурні поточкові лінії (перемінно-поточкові, групові, предметно-замкнені ділянки ліній).

При *груповій обробці* на кожному робочому місці лінії одночасно виконують декілька операцій різних ТП. Використовують спеціальні багатомісні пристрої.

Підвищується завантаження обладнання, а лінія працює без переналагодження обладнання. Перемінно-поточкову та групову обробку (складання) виконують на звичайних та автоматичних лініях (створюють предметно-замкнені ділянки).

В умовах дрібносерійного й одиничного виробництв (у важкому машинобудуванні) використовують *непотоковий метод*. При цьому методи не закріплюють операції за конкретними робочими місцями, тривалість операцій не синхронізують за тактом випуску, на робочих місцях створюють заділи заготовок (складальних одиниць), необхідні для забезпечення завантаження робочих місць. ТП будується за принципом концентрації переходів. Степінь концентрації зростає зі зменшенням об'єму випуску.

1.4 Характеристика CALS-технологій та їх використання в технологічній підготовці виробництва

Автоматизація підготовки виробництва дає можливість підприємствам швидко реагувати на зміну попиту на ринку, в короткі терміни випускати нові види продукції, модернізувати виробництво і продукцію, що випускається, відстежувати життєвий цикл (ЖЦ) виробів, ефективно підвищувати їх якість [15].

За визначенням, приведеним у стандарті ISO 9004-1, життєвий цикл продукції – це сукупність процесів, що виконуються від моменту виявлення потреб суспільства в певній продукції до моменту задоволення цих потреб і утилізації продукції.

Життєві цикли включають різні процеси (рисунки 1.1): передпроектні дослідження, розробку технічного завдання, проектування й конструювання, технологічну підготовку виробництва (ТПВ), виготовлення й випробування дослідних зразків, виробництво виробів, постачання споживачам, експлуатацію, виведення із експлуатації.

Багато робіт по виробу виконуються за досить складними циклами, наприклад: проводиться багатократна модернізація виробів, пов'язана з вдосконаленням характеристик виробів, зміною технічної документації, впровадженням нових технологій і тому подібне. Завдання інформаційних комп'ютерних технологій (ІКТ) охоплюють також процеси поточного управління діяльністю підприємств.

Стосовно машинобудування інформаційні комп'ютерні технології (ІКТ) використовуються у формі прийнятого у всьому світі середовища CALS/ПВ-технологій. Позначення CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support) означає комп'ютерний супровід і підтримку життєвого циклу виробів, ПВ означає інформаційну підтримку життєвого циклу виробу.

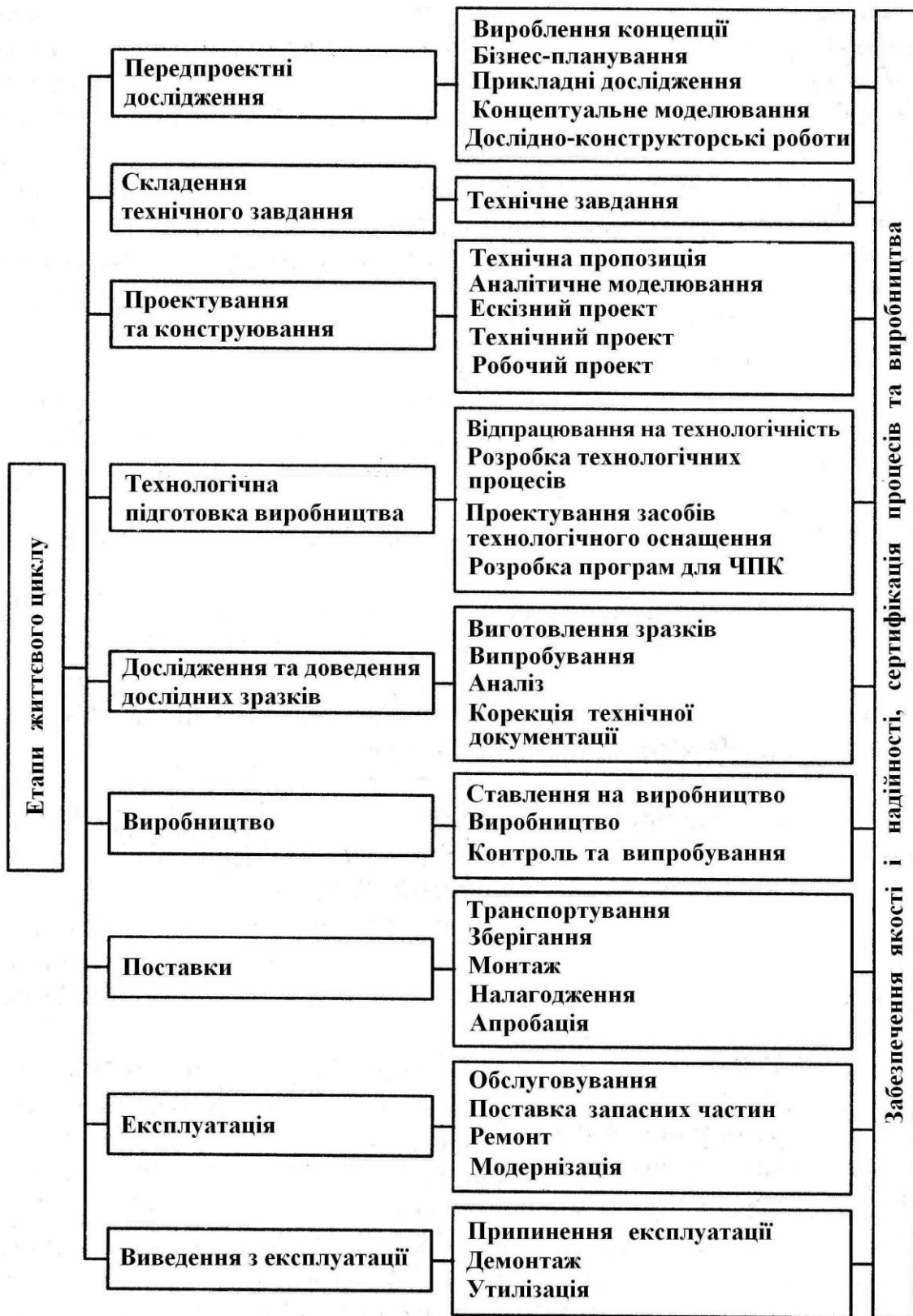


Рисунок 1.1 – Структура життєвого циклу продукції

Дуже важливі процедури з відпрацювання виробів, спрямовані на підвищення якості, надійності й технологічності виробів, проводяться у рамках CALS-технологій. Вони охоплюють практично усі сфери виробничої, проектної і комерційної діяльності. Загально прийнято, що технологічні й виробничі процеси на сучасному підприємстві піддаються сертифікації.

Середовище CALS-технологій дуже велике. Можна перерахувати наступні його основні системи (рисунок 1.2). Так, програмні продукти CAD (Computer Aided Design) охоплюють комплекс засобів комп'ютерного проектування, конструювання й тривимірного (3D) просторового моделювання.



Рисунок 1.2 – Взаємозв'язки систем CALS/TPV-технологій підприємств

Системи CAM (Computer Aided Manufacturing) відносять до процесів технологічної підготовки виробництва, що охоплюють геометричне моделювання та імітацію процесів автоматизованої механічної і спеціальної обробки, розробки програм для устаткування з ЧПК. При цьому широко використовують прийоми прямої передачі програм числового керування безпосередньо на верстати з використанням систем DNC (Direct Numerical Control) і локальних комп'ютерних мереж (ЛКМ).

Програмні комплекси CAPP (Computer Aided Process Planning) забезпечують загальну частину ТПВ – розробку маршрутних і операційних технологічних процесів, розрахунок режимів і нормативних показників обробки й складання.

Системами CAE (Computer Aided Engineering) є автоматизовані системи фізико-математичного моделювання технічних і технологічних процесів і інженерних розрахунків. Моделювання здійснюється засобами обчислювальної математики з використанням сіток і кінцевих елементів різноманітної конфігурації стосовно просторових геометричних моделей виробів.

Системи PDM (Product Data Management) призначені для опису складу виробів і технічних документів, керування проектами й технічним

документообігом, створення взаємопов'язаних потоків робіт, тобто описи порядку розробки, узгодження й затвердження графічних і текстових документів.

Автоматизовані системи ERP (Enterprise Resource Planning) є класом інтегрованих комп'ютерних інформаційних систем, призначених для керування процесами виробництва.

Автоматизовані системи класу MRP (Materials Requirement Planning) та їх подальший розвиток – *MRP II* (Manufacturing Resource Planning) включають комплекс процесів керування ресурсами підприємства, тобто його фінансово-господарською діяльністю, технологічною підготовкою і плануванням виробництва, матеріально-технічним постачанням, керування фінансовими ресурсами й тому подібне

Системи CPC (Collaborative Product Commerce) призначені для ведення спільного електронного бізнесу.

Слід враховувати, що розподіл CALS-технологій на системи й підсистеми носить умовний характер. У той же час широко застосовують підсистеми, що не мають «офіційної» класифікації. Таким чином, CALS-технології є засобом комплексної комп'ютеризації технічної підготовки промислового виробництва на основі уніфікації моделей, специфікації виробів і потоків даних.

CALS-технології є найсучаснішими й найбільш універсальними засобами інформаційного обміну й підтримки життєвого циклу виробів (рис. 1.3). Особливо вони ефективні при розробці конструкторської і технологічної документації. Їх використання в процесах ТПВ дозволяє підвищити продуктивність праці в декілька разів.

Застосування CALS/ІПВ-технологій на машинобудівному підприємстві забезпечує управління проектами, управління інформаційними службами, об'єктами, моделями, масивами інформації за єдиним стандартом. Цілі CALS – безперервне забезпечення якості й оптимізація об'єктів і процесів за допомогою зміни їх конфігурації. Задана методологія найбільш прийнятна для використання в процесі ринкових стосунків. Головним інструментом CALS слід вважати єдиний інформаційний простір SDE (Shared Data Environment – середовище даних, що використовуються сумісно).

Основний зміст концепції CALS складають інваріантні поняття, що реалізуються (повністю або частково) впродовж життєвого циклу виробу; їх поділяють на декілька груп.

1 Базові принципи CALS припускають системну інформаційну підтримку ЖЦ виробу на основі використання інтегрованого середовища, що забезпечує мінімізацію витрат на усіх його етапах; інформаційну інтеграцію за рахунок стандартизації інформаційного опису об'єктів керування. Потрібні розподіл програм і даних на основі стандартизації структур даних і інтерфейсів доступу до них, орієнтація на готові комерційні програмно-технічні рішення COTS (Commercial Of The Shelf), безпаперове представлення інформації, використання електронно-цифрового підпису.



Рисунок 1.3 – Функції основних систем CALS-технологій машинобудівного підприємства

2 Одна з найважливіших переваг CALS/ІПВ-технологій реалізується у формі паралельного інжинірингу (Concurrent Engineering), який полягає в можливості вдосконалення структури й властивостей виробів фахівцями різних галузей знань і стадій конструкторського й технологічного проектування одночасно. Наприклад, конструктор може електронними мережами направити креслення фахівцеві в області міцності або технологові для аналізу технологічності деталі або складальної одиниці.

3 CALS/ІПВ-технології припускають на основі безперервної модернізації (реінжинірингу) виробничих структур послідовне вдосконалення бізнес-процесів, у тому числі й виробничо-технологічного типу.

4 До числа уніфікованих технологій керування процесами відносять спеціальні структуровані методи, інваріантні по відношенню до об'єкту (продукції), а саме: безперервне керування проектами й завданнями (Project Management/Workflow Management), ресурсами (Manufacturing Resource Planning) і якістю (Quality Management).

5 До числа стандартних технологій керування потоками даних відносять методи збору, обробки й зберігання інформації про виріб, процеси проектування й виробництва, ресурси, що витрачаються, і середовище реалізації продукції на ринку.

CALS/ПІВ-технології ґрунтуються на ряді базових міжнародних стандартів, головним з яких є стандарт ISO 10303 STEP.

Концепції CALS/ПІВ-технологій відбиті в стандарті ISO 13584 P - Lib, в якому представлені дані про типові елементи виробів (кріпленні, підшипниках), ISO 14959 Parametrix, що визначає обмін параметричними даними про вироби, та в інших.

Контрольні запитання

- 1 Дайте класифікацію виробів машинобудівного виробництва.
- 2 Дайте визначення виробничого та технологічного процесів машинобудівного підприємства.
- 3 Наведіть зміст та структуру технологічної операції.
- 4 Як визначається тип машинобудівного виробництва?
- 5 Дайте технологічну характеристику одиничного виробництва.
- 6 Дайте технологічну характеристику серійного виробництва.
- 7 Дайте технологічну характеристику масового виробництва.
- 8 Дайте характеристику CALS-технологій та особливостей їх використання при технологічній підготовці виробництва.

2 ЯКІСТЬ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ ВИРОБІВ

2.1 Якість виробів. Показники якості

Якість продукції – це сукупність властивостей продукції, що обумовлює її придатність задовольняти визначені потреби відповідно до її призначення (ДСТУ 2925–94).

Рівень якості продукції – це відносна характеристика якості продукції, що ґрунтується на порівнянні її з відповідною сукупністю базових показників.

Критерій оптимальності рівня якості продукції – інтегральний показник якості (\rightarrow max), що відображує відношення сумарного корисного ефекту від експлуатації продукції до сумарних витрат на її створення та експлуатацію.

На кожний виріб складаються *технічні умови (ТУ)* – документ, в якому указується комплекс технічних вимог до продукції, правила її приймання та поставки, методи контролю, умови експлуатації, транспортування й зберігання.

ТУ складаються відповідно з ДСТУ, мають обмежений термін дії та замінюються новим ДСТУ.

Якість машини характеризується показниками [2, 15]:

1) технічний рівень, що визначає ступінь досконалості машини: потужність, коефіцієнт корисної дії (ККД), продуктивність, економічність та ін.

2) виробничо-технологічні показники (або показники технологічності конструкції), що фіксують ефективність конструктивних рішень з метою забезпечення оптимальних витрат праці та засобів на виготовлення виробу, його експлуатацію, технічне обслуговування та ремонт.

3) експлуатаційні показники:

– надійність виробу;

– ергономічна характеристика або ступінь урахування комплексу гігієнічних, фізіологічних або інших потреб людини в системі людина-машина-середовище;

– естетична оцінка (зовнішнє оформлення виробу та ін.).

При оцінці якості виробу треба також враховувати патентно-правові та екологічні показники, а також показники безпеки.

2.2 Надійність виробів. Показники надійності

Надійність – властивість виробу зберігати значення установлених параметрів функціонування у визначених межах, що відповідають заданим режимам та умовам використання, технічного обслуговування, зберігання та транспортування [3].

Надійність – комплексна властивість, яка може включати безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збереженість.

Основне поняття, що використовується в теорії надійності, – поняття *відмови*, тобто події, що полягає в порушенні працездатності виробу, що настає або раптово, або поступово.

Працездатний стан – такий стан виробу, при якому він відповідає усім установленим для нього параметрам.

Показниками безвідмовності для виробів, що не ремонтуються або замінюються після першого порушення працездатності, є ймовірність безвідмовної роботи та інтенсивність відмов.

Ймовірність безвідмовної роботи

$$P(t) = 1 - F(t),$$

де $F(t)$ – функція розподілу часу роботи об'єкту до відмови.

Статистично ймовірність безвідмовної роботи визначається відношенням кількості об'єктів, що безвідмовно напрацювали до моменту часу t , до кількості об'єктів, що працездатні в початковий момент часу $t = 0$:

$$P(t) = \frac{N_t}{N_{t=0}} \cdot$$

Фізичний зміст щільності ймовірності відмови – ймовірність відмови в достатньо малу одиницю часу.

Аналітично *інтенсивність відмов* визначається за формулою

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)},$$

де $f(t) = F'(t)$ – щільність розподілу часу безвідмовної роботи, а статистично – за формулою

$$\bar{\lambda} = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t) \Delta t},$$

де $N(t)$ – кількість об'єктів, що працездатні до моменту t ;

Δt – інтервал часу.

Для виробів, що ремонтуються, показники безвідмовності – напрацювання на відмову, середнє значення параметру потоку відмов.

Напрацювання на відмову – відношення сумарного напрацювання об'єктів, що відновлюються, до сумарної кількості відмов цих об'єктів.

Середнє значення параметру потоку відмов – величина, обернена напрацюванню на відмову.

Ремонтпридатність характеризується середнім часом відновлення та ймовірністю відновлення працездатності протягом визначеного інтервалу часу, а також комплексними показниками – коефіцієнтом готовності та коефіцієнтом технічного використання.

Середній час відновлення

$$\bar{T}_B = \frac{\sum_{i=1}^m \tau_i}{m},$$

де τ_i – тривалість відновлення.

Коефіцієнт готовності

$$\bar{K}_\Gamma = \frac{\sum_{i=1}^N \omega_i}{T_{роб}},$$

де ω_i – сумарний час перебування i -го об'єкту у працездатному стані ($i = 1, 2, \dots, N$);

$T_{роб}$ – тривалість експлуатації (включає в себе інтервали часу роботи та відновлення).

При порядку роботи, що передбачає негайний початок відновлення об'єкта, який відмовив, коефіцієнт готовності визначається за формулою

$$K_\Gamma = \frac{T_o}{T_o + T_e},$$

де T_o – напрацювання на відмову;

T_e – середній час відновлення.

Коефіцієнт технічного використання

$$K_{TB} = \frac{\sum_{i=1}^N T_p}{NT_e},$$

де $\sum T_p$ – сумарний час перебування об'єктів у працездатному стані;

N – кількість об'єктів;

T_e – заданий час експлуатації.

Довговічність – властивість виробу зберігати працездатність до настання граничного стану при установленій системі технічного обслуговування та ремонту.

Для багатьох виробів, що не ремонтуються (шестерні, лампи), граничний стан співпадає з відмовою.

Граничний стан виробів, що ремонтуються, визначається неефективністю їх подальшої експлуатації через старіння та частих відмов або збільшення витрат на ремонт. Граничний стан може визначатись моральним старінням.

Показники довговічності:

1 *Ресурс* – показник, що характеризує довговічність виробу за напрацюванням.

2 *Термін служби* – показник, що характеризує довговічність за календарним часом.

Розрізняють ресурс та термін служби до першого капітального ремонту, між капітальними ремонтами, до вибракування.

2.3 Технологічність виробів. Показники технологічності

Технологічність конструкції виробу – сукупність властивостей конструкції, які забезпечують виготовлення, ремонт та технічне обслуговування виробу за найбільш ефективною технологією порівняно з аналогічними конструкціями при однакових умовах їх виготовлення, експлуатації, при одних і тих же показниках якості [1, 8, 15].

Основне завдання забезпечення технологічності конструкції виробів (ТКВ) полягає в досягненні оптимальних трудових, матеріальних та паливно-енергетичних витрат на проектування, підготовку виробництва, виготовлення, монтаж поза підприємством-виготовлювачем, технологічне обслуговування та ремонт, при забезпеченні інших заданих показників якості виробу в прийнятих умовах виконання робіт.

Розрізняють виробничу, експлуатаційну, ремонтну технологічність конструкції виробів [3].

Виробнича технологічність конструкції виробів виявляється в скороченні засобів та часу на конструкторську підготовку виробництва (КПВ); технологічну підготовку виробництва; процеси виготовлення, в тому числі контроль та випробування; монтаж поза підприємством-виготовлювачем.

Експлуатаційна технологічність конструкції виробів виявляється в скороченні засобів та часу на конструкторську підготовку до використання виробу за призначенням, технологічне та технічне обслуговування, поточний ремонт, утилізацію.

Ремонтна технологічність конструкції виробів виявляється в скороченні засобів та часу на усі види ремонту, крім поточного.

Аналіз технологічності розпочинається після встановлення типу виробництва. Існує два види оцінки технологічності – якісна та кількісна.

Якісна оцінка характеризує технологічність конструкції узагальнено, на основі досвіду виконавця. Якісна оцінка можлива на всіх етапах виготовлення виробу і передреє кількісній оцінці, тому що визначає її доцільність.

Кількісна оцінка визначається показником, величина якого характеризує степінь задоволення вимог до технологічності конструкції.

Технологічні вимоги до складальних одиниць (вузлів). Виробнича технологічність конструкції виробів і складальних одиниць (вузлів) виявляється в можливості побудови високопродуктивних технологічних процесів загального і вузлового складання [8].

До конструкції виробів і складальних одиниць (вузлів) пред'являються наступні технологічні вимоги:

- виріб повинен мати просту компоновку і складатися з мінімального числа деталей і складальних одиниць; конструктивні рішення мають бути простими. Слід максимально використовувати стандартні, нормалізовані й уніфіковані деталі й складальні одиниці, що призводить до скорочення їх загальної номенклатури й типорозмірів, підвищення серійності виготовлення, зниження трудомісткості й собівартості, можливості їх придбання за кооперацією в спеціалізованих виробництвах;

- для підвищення точності складання бажано обмежити кінематичні й складальні розмірні ланцюги, поєднати технологічні бази з вимірювальними базами. Дотримання цих вимог підвищує рівень взаємозамінності, скорочує трудомісткість складальних робіт за рахунок зменшення припасовувальних робіт;

- конструкція виробу повинна дозволяти виконувати загальне складання із заздальгідь зібраних складальних одиниць (вузлів), які можна складати паралельно;

- при складанні мають бути забезпечені зручне підведення інструменту до місць з'єднання деталей і подальше швидке й точне його устанавлення. Складання повинне виконуватись без поворотів базової деталі, шляхом здійснення простих рухів для відносної устанавки сполучених деталей і складального інструменту.

Вимоги до заготовок деталей машин. Технологічні вимоги, що пред'являються до заготовок, пов'язані зі способами їх отримання, які залежать від типу виробництва і технологічних можливостей заготівельних цехів підприємства [8].

До форм і конструкції литих заготовок деталей машин (відливок) пред'являються наступні технологічні вимоги:

- конструкція заготовки повинна забезпечувати безперешкодне видалення ливникової системи, додатків, напуску, стрижнів і каркасів, а також витягання моделей із форми й стрижнів зі стрижньових ящиків (рисунок 2.1, а...д);

- ливарні радіуси й ухили, товщина зовнішніх і внутрішніх стінок, ребер жорсткості та інших елементів повинні знаходитися в межах, що рекомендуються для даного способу литва;

- переходи від одного перетину до іншого мають бути плавними; недопустимі різкі зміни товщини стінок і гострі кути, що порушують принцип направленої твердіння й кристалізації металу в ливарній формі (рисунки 2.1, е);

- охолодження виливка по можливості має бути рівномірним, конструкція заготовки повинна забезпечувати її вільну усадку без гальмування формою і стрижнями;

- конфігурація заготовки повинна допускати можливість спрощення, що дозволяє понизити вартість моделей, стрижньових ящиків, кокілів та іншого ливарного оснащення (рисунки 2.1, и);

- базові поверхні заготовки бажано отримувати в одній опці, що виключає вплив зсуву опок і стрижнів на точність виливка (рисунки 2.1, ж, з); відповідальні поверхні повинні займати у формі нижнє положення, що сприяє підвищенню щільності металу, виключає раковини та інші ливарні пороки.

Технологічні конструкції гарячочокваних і штампованих заготовок деталей повинні відповідати наступним основним вимогам:

- мати прості симетричні форми. Несиметричні форми сприяють бічним зрушенням штампів і появі браку (рисунки 2.1, л);

- не мати довгих вузьких виступів у площині рознімання штампу і в перпендикулярній до них площині. Основні поверхні мають бути гладкими, без бобишок і виступів (рисунки 2.1, м);

- не допускати великої різниці в перетинах заготовки, що призводить до різних швидкостей охолодження металу на окремих її ділянках, і до нерівномірного зношування частин штампу, що спричиняє собою брак по недоштампуванню;

- забезпечити плавний перехід від однієї поверхні заготовки до іншої завдяки правильному вибору радіусів закруглення;

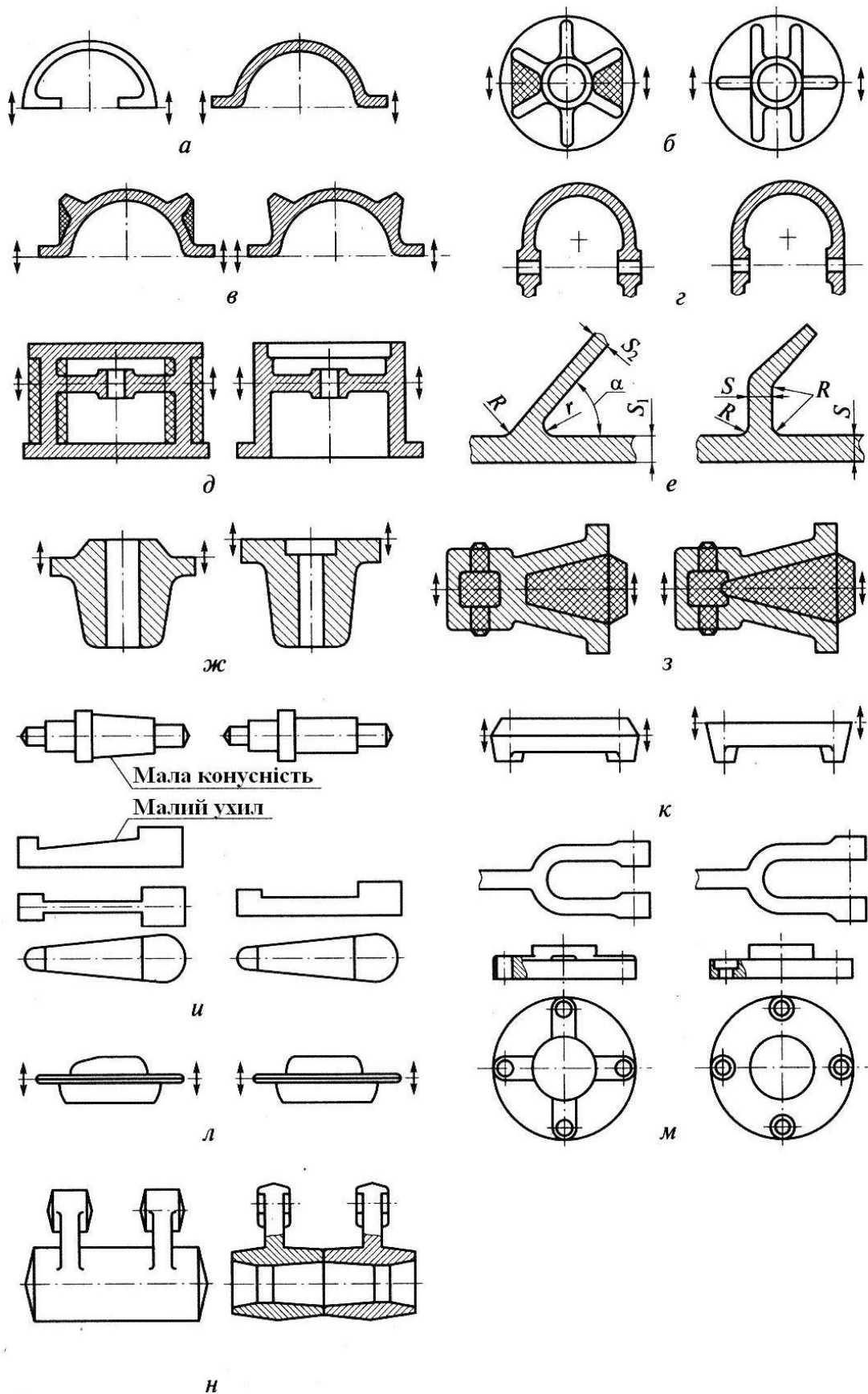
- форма заготовки повинна дозволити вільно витягувати її зі штампу, для чого на поверхнях заготовки передбачають штампувальні ухили. Виїмка повинна відбуватися лише у напрямі руху штампу;

- допускати рознімання штампу по горизонтальній площині заготовки з найбільшими габаритними розмірами; небажані рознімання по ламаючих, похилих і криволінійних поверхнях;

- забезпечувати повне заповнення порожнин форми металом і не допускати перерізування його волокон;

- допускати отримання всієї заготовки в одній половині штампу, що істотно підвищує її точність (рисунки 2.1, к).

Заготовки складних за конфігурацією деталей замінують зварними конструкціями (рисунки 2.1, м), що складаються з простих штампованих елементів, зварених між собою, а інколи заготовками з прокату.



а...з – виливки; и...н – об'ємні штамповки
 Рисунок 2.1 – Технологічні (наведені праворуч) та нетехнологічні (наведені ліворуч) заготовки деталей машин

Технологічні вимоги до деталей машин. Опрацьовуючи конструкцію деталі, прагнуть забезпечити можливість її виготовлення в певних організаційно-технічних умовах виробництва найбільш продуктивними способами і з найменшими витратами [8].

Матеріал деталі повинен забезпечувати отримання заготовок заданої точності найбільш дешевими й ефективними методами; він повинен добре оброблятися за допомогою наявних засобів виробництва.

Конфігурація заготовки повинна відповідати формам і розмірам деталі або наближатися до них. Заготовки деталей машин повинні мати поверхні, що забезпечують їх зручне й надійне базування при обробці; за відсутності таких передбачають можливість створення штучних технологічних баз у вигляді бобишок, платиків, поясок, отворів і т. п. (рисунок 2.2, а).

Конструкція деталі повинна забезпечити її надійне закріплення на верстаті або в пристрої. Жорсткість кріплення має бути достатньою для виконання обробки одним або декількома інструментами з використанням інтенсивних режимів.

Розміри на кресленні проставляють так, щоб в процесі обробки дотримувалася принцип постійності і єдності баз, і щоб враховувалася передбачувана послідовність виконання і вмісту технологічних операцій (рисунок 2.2, б).

В умовах серійного виробництва конструкція деталі повинна дозволити одночасно встановлювати і обробляти декілька заготовок (рисунок 2.2, в).

Конструкція деталі повинна враховувати можливість її обробки високопродуктивним інструментом, забезпечуючи його зручне підведення, урізування і вихід, а також ефективне охолодження за допомогою МОР (рисунок 2.2, г, д).

Для зменшення об'єму механічної обробки скорочують число і протяжність оброблюваних поверхонь. Всі необроблювані поверхні залишають без обробки з точністю розмірів, що відповідають 16-17-м квалітетам (рисунок 2.2, е).

Конфігурація деталі має бути утворена з елементів простих геометричних форм (циліндрів, площин, конусів і тому подібне), що дозволяє використовувати високопродуктивні типові технологічні процеси обробки, застосовувати високопродуктивне обладнання, оснащення (рисунок 2.2, ж).

При відпрацюванні на технологічність необхідно також розглянути можливість розділення складної деталі на прості з подальшим їх з'єднанням зварюванням (рисунок 2.2, з), або можливість заміни збірної конструкції моноблочної (рисунок 2.2, и, к) з одночасним зменшенням об'ємів обробки різанням.

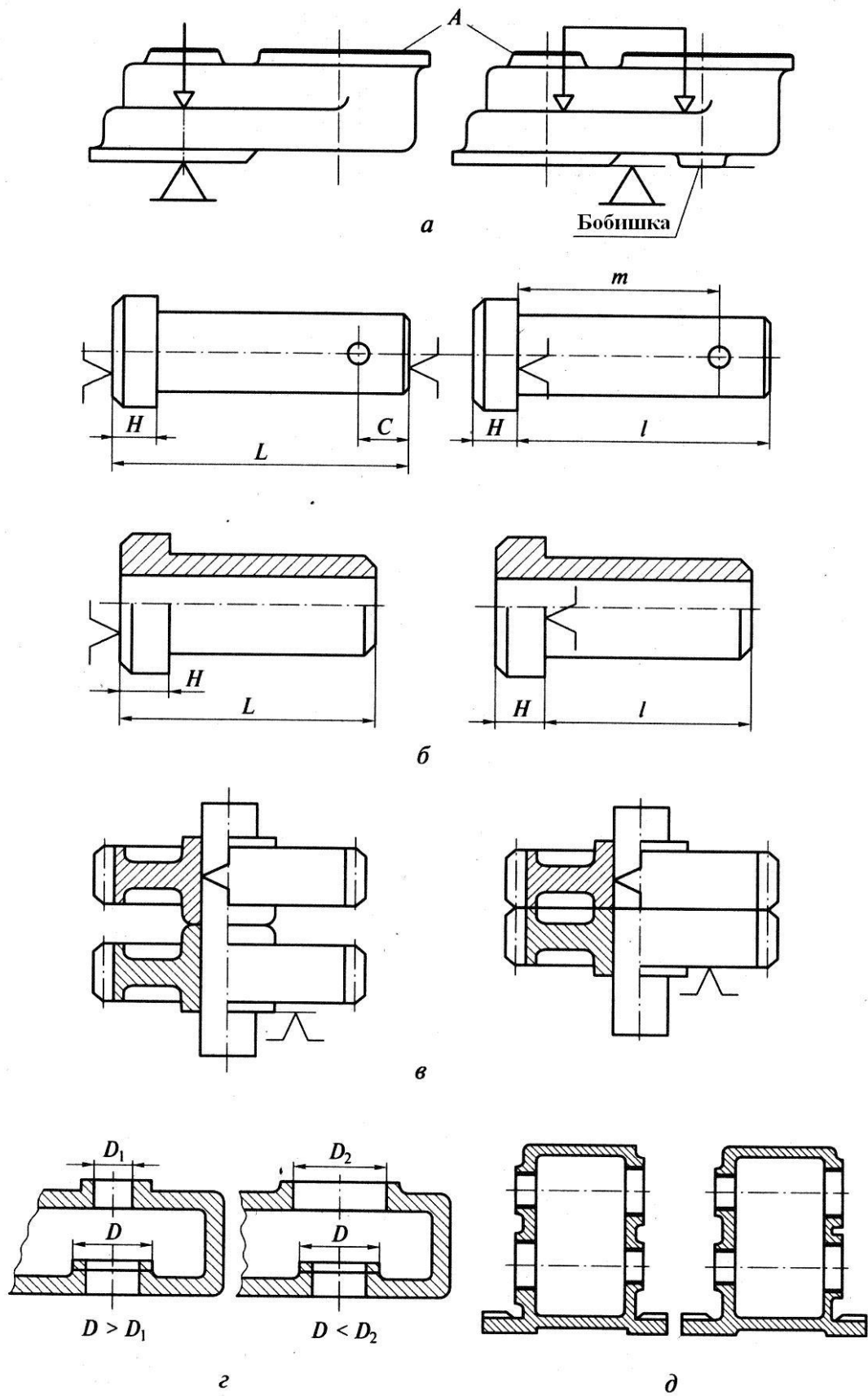


Рисунок 2.2 – Технологічні (наведені праворуч) та нетехнологічні (наведені ліворуч) конструкції деталей машин у виробництві

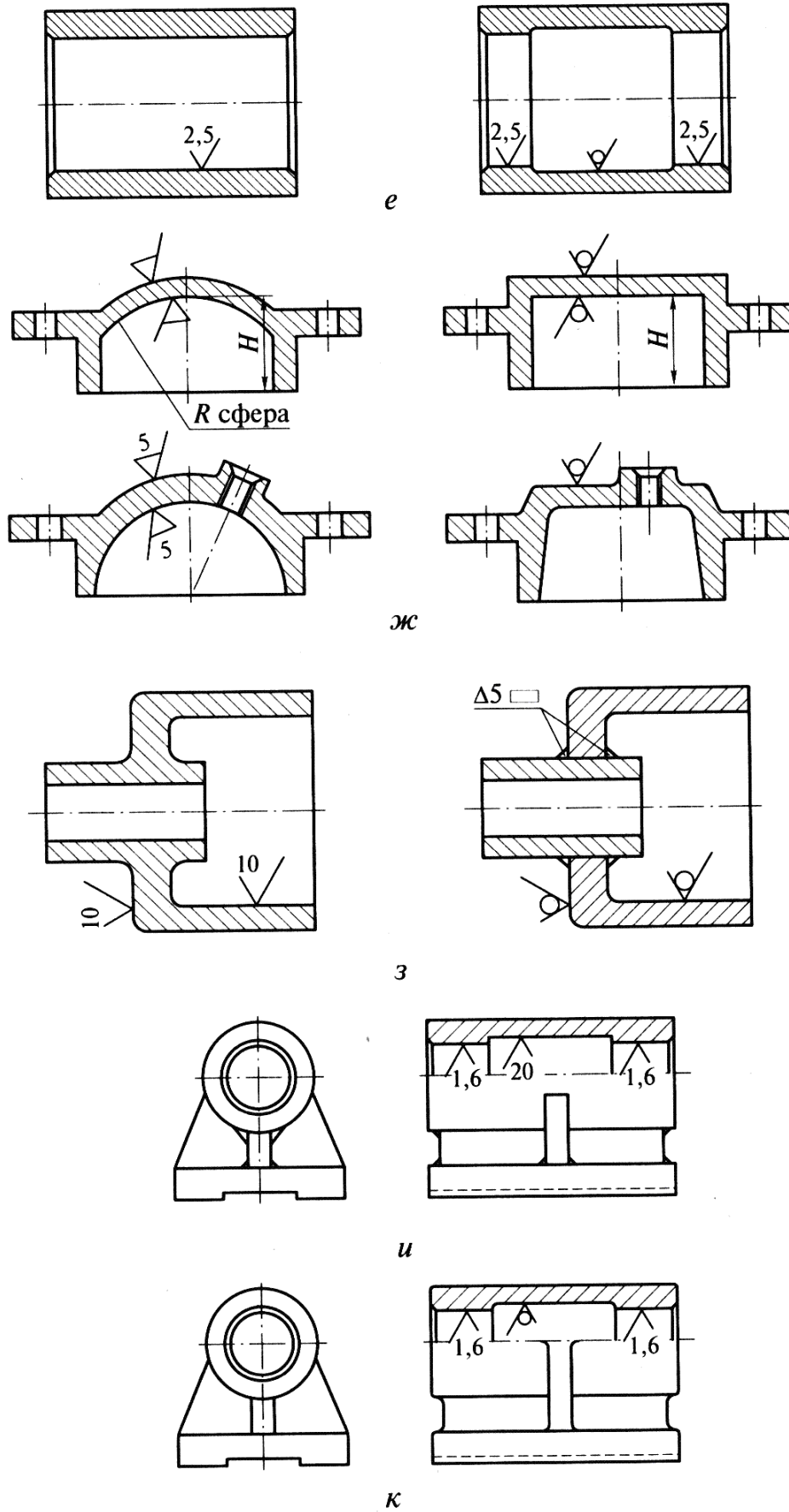


Рисунок 2.2, аркуш 2

Технологічні вимоги до деталей машин, що обробляються різанням. При конструюванні деталей машин, що обробляються різанням, враховують наступні рекомендації, що підвищують технологічність [8]:

- виконувати сферичні опуклі (увігнуті) поверхні зі зрізом, перпендикулярним до осі (рисунок 2.3, *а*), виключаючи обробку сфери поблизу осі, де швидкість різання близька до нуля;

- передбачати в конструкції наскрізні отвори. При необхідності використання глухих отворів пов'язати їх конструкцію з конфігурацією оброблювального інструменту (рисунок 2.3, *б, в*);

Розташовувати отвори під кріпильні деталі не ближче певної відстані A від стінки: $A = R + 0,5D$, де D – діаметр головки болта, заклепки, шайби, гайки або іншої деталі (рисунок 2.3, *г*);

- щоб уникнути поломки свердел та їх відведення, вхідні й вихідні поверхні отворів виконувати перпендикулярними до осі (рисунок 2.3, *д*);

- плоскі поверхні обробляти на прохід, забезпечуючи рівномірне знімання припуску по всій площині (рисунок 2.3, *е*). Ширину поверхні інколи пов'язували з розмірами інструменту (фрезою);

- пази переважно обробляти на прохід дисковими фрезами; якщо це неможливо, то перехідна частина паза повинна відповідати радіусу фрези, радіуси закруглення у гнізд і виїмок – радіусам пазових фрез (рисунок 2.3, *ж*);

- при розташуванні декількох отворів на одній осі рекомендується для одночасної обробки зменшувати послідовно розміри отворів на величину, що перевищує припуск на обробку попереднього отвору (рисунок 2.3, *з*);

- використовувати стандартні різі з діаметром $d \geq 6$ мм, що дозволяє уникати частих поломок мітчиків (див. рисунок 2.3, *б*).

Інші можливості поліпшення технологічності конструкції деталей машин приведені на рисунках 2.3, *и...п*.

Рівень технологічності визначається як відношення досягнутого проектного рівня технологічності K_D до базового K_B (або навпаки):

$$K_y = \frac{K_D}{K_B},$$

де K_D – досягнутий показник технологічності;

K_B – базовий показник технологічності.

Зазвичай приймають $0 \leq K_y \leq 1$.

Рівень технологічності визначають за одним або декількома комплексними показниками, що прийняті як критерії оцінки технологічності конструкції в технічному завданні на виріб.

За значимістю для оцінки розрізняють основні та додаткові показники.

До *основних показників технологічності* належать трудомісткість, матеріаломісткість, енергомісткість, тривалість виготовлення (експлуатації, ремонту), собівартість виробу [2, 3].

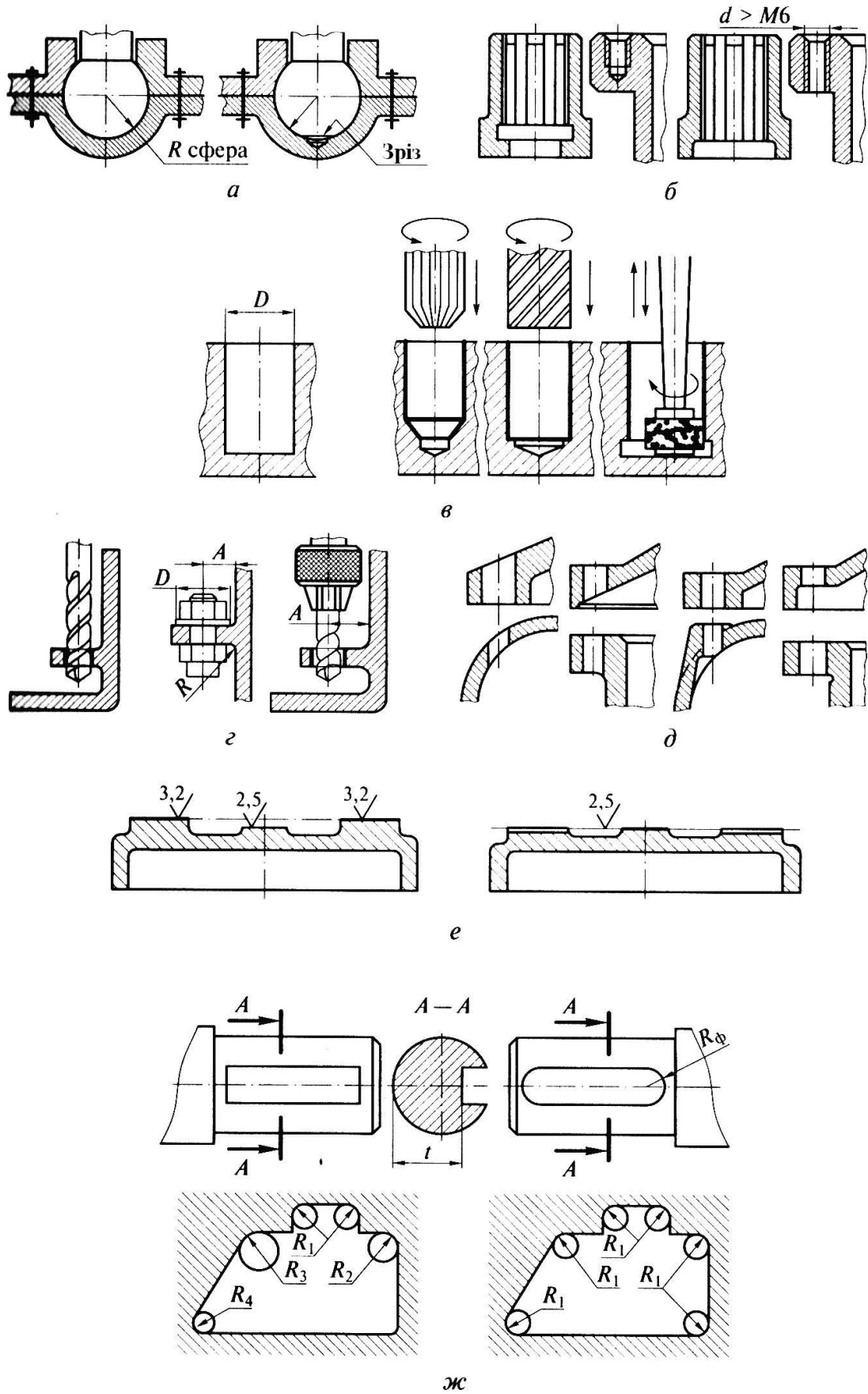
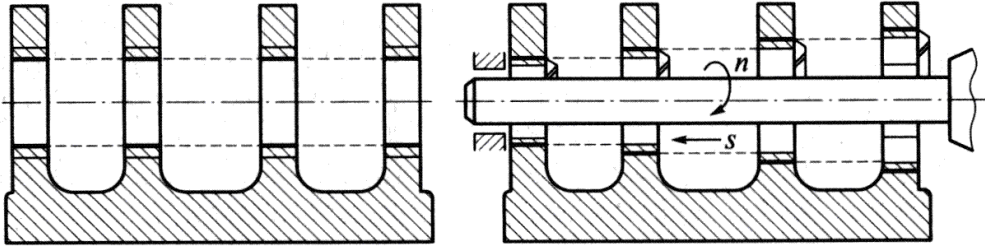
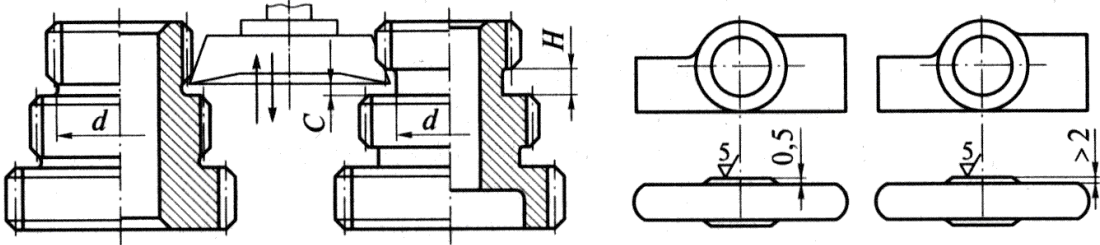


Рисунок 2.3 – Технологічні (наведені праворуч) та нетехнологічні (наведені ліворуч) конструкції деталей, що обробляються різанням

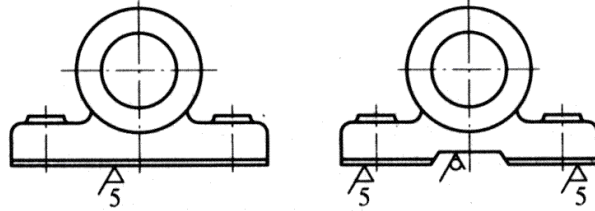


3

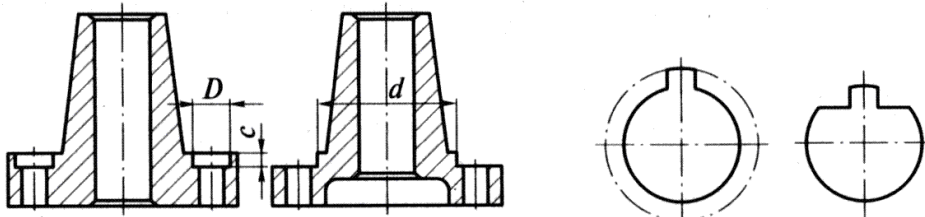


u

k

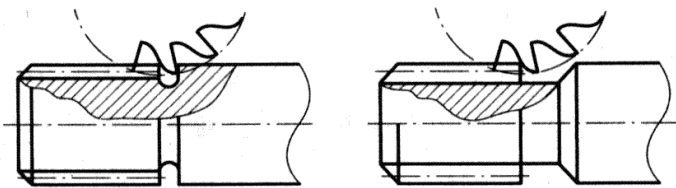


л

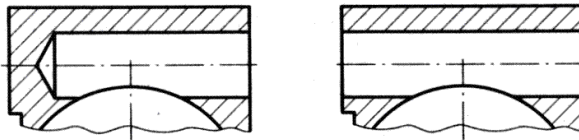


м

н



o



п

Рисунок 2.3, аркуш 2

Трудомісткість виготовлення виробу (*абсолютна*)

$$T_a = \sum T_i,$$

де T_i – трудомісткість i -ї складової частини виробу, нормо-год.
Відносна трудомісткість виробу

$$T_o = \frac{T_p}{T_a},$$

де T_p – трудомісткість певного виду робіт (заготівельних, механічної обробки або складання).

Матеріаломісткість характеризує кількість витраченого матеріалу на виробництво виробу та його експлуатацію, що визначається в одиницях маси. Визначається за видами матеріалу (метал, дерево, пластмаса та ін.).

Уніфікація матеріалів оцінюється коефіцієнтом використання матеріалу

$$K_{np.mi} = \frac{N_i}{N},$$

де N_i – норма витрат i -го матеріалу на виготовлення виробу. Коефіцієнт використання матеріалу для виробу повинен дорівнювати 1.

Енергомісткість виробу характеризує кількість витрачених паливно-енергетичних ресурсів на виготовлення, монтаж поза підприємством-виготовлювачем, технологічне обслуговування, технічне обслуговування, ремонт або утилізацію:

$$E = \sum_i^n \sum_j^{m_i} (E_{ij}^{(1)} + E_{ij}^{(2)} - E_{BTij}),$$

де n – кількість складальних одиниць у виробі;

m_i – кількість деталей (складових частин) в i -й складальній одиниці;

$E_{ij}^{(1)}$ – кількість палива та енергії, що витрачається на j -у деталь i -ї складальної одиниці;

$E_{ij}^{(2)}$ – кількість вторинних ресурсів, що витрачається на j -у деталь i -ї складальної одиниці, яка поступає від інших технологічних процесів;

E_{BTij} – кількість вторинних енергетичних ресурсів, що використовуються за межами даного технологічного процесу.

Собівартість виробу відображує витрати праці, матеріалів та паливно-енергетичних ресурсів на виробництво та експлуатацію виробу.

Визначають показник технологічної собівартості C_m як суму витрат на одиницю виробу при виконанні технологічного процесу виготовлення виробу, монтаж поза підприємством-виготовлювачем, технологічне та технічне обслуговування та ремонту.

Додаткові показники технологічності характеризують технологічну раціональність та спадкоємність конструкції виробу стосовно окремих галузей прояву технологічності.

Показники уніфікації конструкції виробу:

1 *Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів*

$$K_{UE} = \frac{Q_{UE}}{Q_E},$$

де Q_{UE} – кількість уніфікованих типорозмірів конструктивних елементів;

Q_E – кількість типорозмірів конструктивних елементів у виробі.

Приклади конструктивних елементів виробу: різі, кріплення, фаски, отвори й т. п.

Кількість однакових конструктивних елементів повинна бути не меншою за 50 %.

2 *Коефіцієнт використання типових технологічних процесів*

$$K_{TP} = \frac{Q_{TP}}{Q_P},$$

де Q_{TP} – кількість типових технологічних процесів виготовлення (технологічного та технічного обслуговування, ремонту);

Q_P – загальна кількість технологічних процесів, що використовуються при виготовленні.

Показники обробки:

1 *Коефіцієнт точності обробки* визначають за формулою

$$K_{TC} = 1 - \frac{1}{T_{сер}} = 1 - \frac{\sum n_i}{\sum T n_i},$$

де $T_{сер} = \frac{\sum T n_i}{\sum n_i}$ – середній квалітет обробки виробу;

$T \equiv IT$ – квалітет обробки;

n_i – кількість розмірів відповідного квалітету.

2 *Коефіцієнт шорсткості поверхні*

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{Ш_{сер}} = 1 - \frac{\sum k_i}{\sum Шk_i},$$

де $Ш_{сер} = \frac{\sum Шk_i}{\sum k_i}$ – середня шорсткість поверхні;

$Ш \equiv Ra$ – шорсткість поверхні (ДСТУ 2413–94);

k_i – кількість поверхонь з відповідною шорсткістю.

Крім розглянутих, у машинобудуванні для отримання кількісних оцінок технологічності конструкції виробу можуть використовуватись і інші показники, що характеризують виробничу технологічність виробу.

Контрольні запитання

- 1 Якими показниками характеризується якість машини?
- 2 Якими показниками характеризується надійність машини?
- 3 Що розуміють під технологічністю конструкції машини?
- 4 Які технологічні вимоги висуваються до заготовок деталей машин?
- 5 Які технологічні вимоги висуваються до конструкції деталей з урахуванням механічної обробки?
- 6 Які технологічні вимоги висуваються до конструкції машин при складанні?
- 7 Як визначається технологічність виробів за основними та додатковими показниками?

3 БАЗУВАННЯ ТА БАЗИ В МАШИНОБУДУВАННІ

3.1 Базис та опорні точки. Правило 6 точок

Для правильної роботи кожної машини необхідно забезпечити визначене взаємне розташування її деталей та вузлів.

При обробці деталей на верстатах заготовки також повинні бути правильно орієнтовані відносно механізмів та вузлів верстата. Завдання взаємного орієнтування деталей та складальних одиниць в машинах при їх складанні та заготовок на верстатах при виготовленні деталей вирішується їх базуванням [1, 2, 7, 9].

Базуванням називається надання заготовці або виробу потрібного положення відносно обраної системи координат (ДСТУ 2232–93).

При установці заготовок у пристроях вирішуються 2 різних завдання: орієнтування, яке здійснюється базуванням, та створення нерухомості, що досягається закріпленням заготовок.

Ці завдання теоретично вирішуються накладенням визначених обмежень (зв'язків) на можливі переміщення заготовки (механічної системи) у просторі.

Під *зв'язками* розуміють обмеження позиційного (геометричного) або кінематичного характеру, що накладаються на рух точок тіла, що розглядається.

Розрізняють позиційні зв'язки, що обмежують переміщення (в технології машинобудування їх називають стаціонарними позиційними зв'язками), та кінематичні зв'язки, що обмежують швидкості.

Для орієнтування призматичного тіла у просторі (рисунок 3.1) необхідно з'єднати три його точки нижньої поверхні, що не лежать на спільній прямій, двосторонніми позиційними зв'язками з площиною XOY прямокутної системи координат. При цьому двосторонні зв'язки, що символізуються координатами z , можуть бути представлені у вигляді недеформованих стрижнів, що зберігають можливість ковзати по площині XOY вздовж осей OX та OY , не відриваючись від неї та від нижньої площини A призматичного тіла.

У результаті цього призматичне тіло позбавляється трьох степенів вільності (можливості поступального руху вздовж осі OZ та обертального руху навколо осей OX та OY).

Для позбавлення тіла ще двох степенів вільності (можливості переміщення вздовж осі OX та обертального руху навколо осі OZ) необхідно з'єднати його бокову поверхню B двома двосторонніми зв'язками (координатами x) з площиною YOZ .

Для позбавлення тіла ще одного степеня вільності (можливості переміщення вздовж осі OY) необхідно з'єднати поверхню C одним двостороннім зв'язком (координатою y) з площиною XOZ .

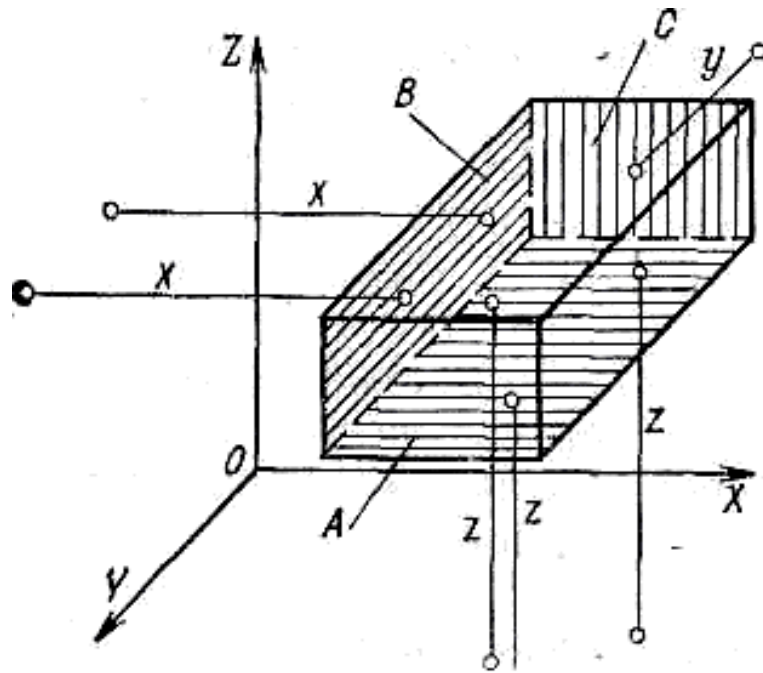


Рисунок 3.1 – Орієнтування призматичного тіла у просторі

Шість накладених двосторонніх позиційних зв'язків забезпечують задане орієнтування тіла відносно системи координат $OXYZ$ та фіксування тіла в даному положенні.

Прикладом двостороннього зв'язку може слугувати зв'язок абсолютно гладкої кулі, розташованої між двома абсолютно гладкими площинами (при відсутності сил тертя в точках контакту кулі з цими площинами) (рисунок 3.2, б).

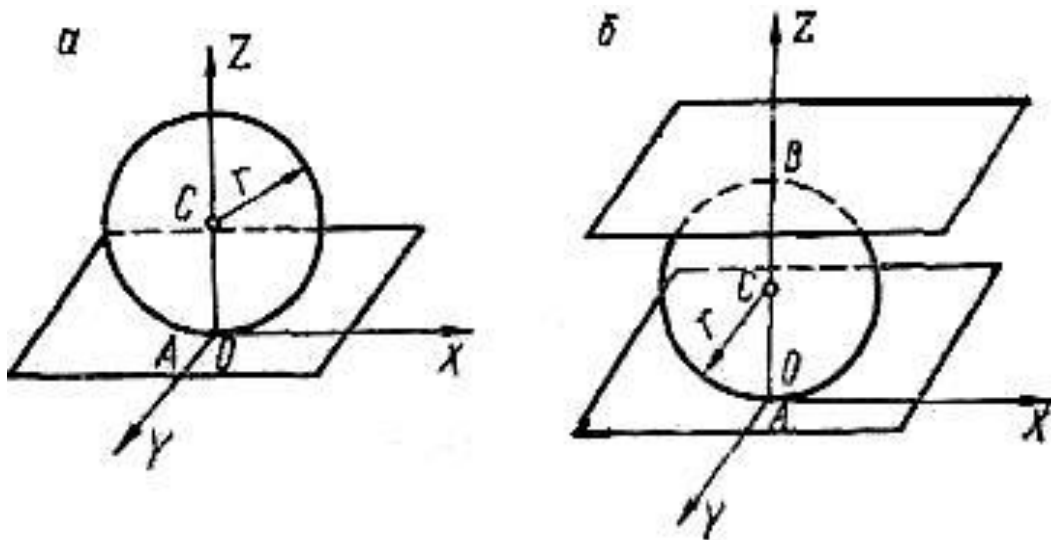


Рисунок 3.2 – Схема одностороннього (а) та двостороннього (б) зв'язків

Математичний вираз двостороннього зв'язку

$$Z_c - r = 0,$$

де Z_c – координата центру кулі;

r – радіус кулі.

Математичний вираз одностороннього зв'язку (рисунок 3.2, а) (при установці в пристрої на опорні поверхні або точки)

$$Z_c - r \geq 0.$$

Конфігурація системи є граничною, якщо при односторонніх зв'язках хоча б один з математичних виразів зв'язку перетворюється в рівність.

Граничні конфігурації реалізуються накладенням сил.

При установці заготовок на опорні точки пристроїв кожна з опорних точок реалізує один односторонній зв'язок у граничній конфігурації, тобто обов'язково доповнюється силою (сила тяжіння або притискання).

Опорна точка – це ідеальна точка контакту поверхонь заготовки й пристрою, яка позбавляє заготовку одного степеню вільності й унеможливує її переміщення у напрямку, перпендикулярному опорній поверхні.

Правило 6 точок. Для повного базування заготовки в пристрої необхідно й достатньо створити в ньому 6 опорних точок, розташованих визначеним способом відносно базових поверхонь заготовки (рисунок 3.3).

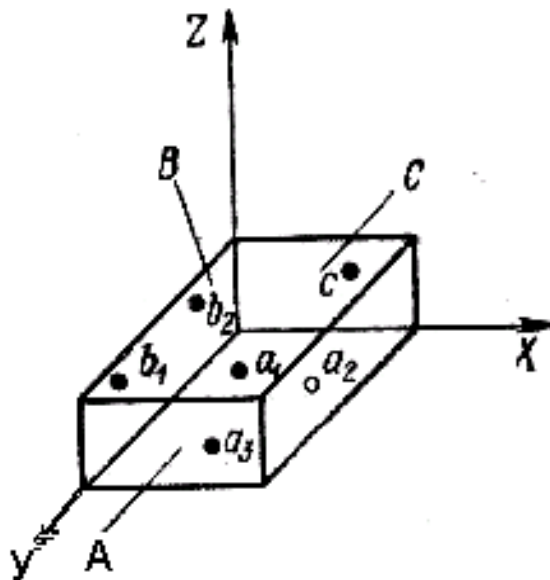


Рисунок 3.3 – Базування призматичної заготовки в пристрої

Поверхні, лінії, осі або точки заготовок або деталей, що використовуються при базуванні, називаються *базами*.

3.2 Класифікація баз

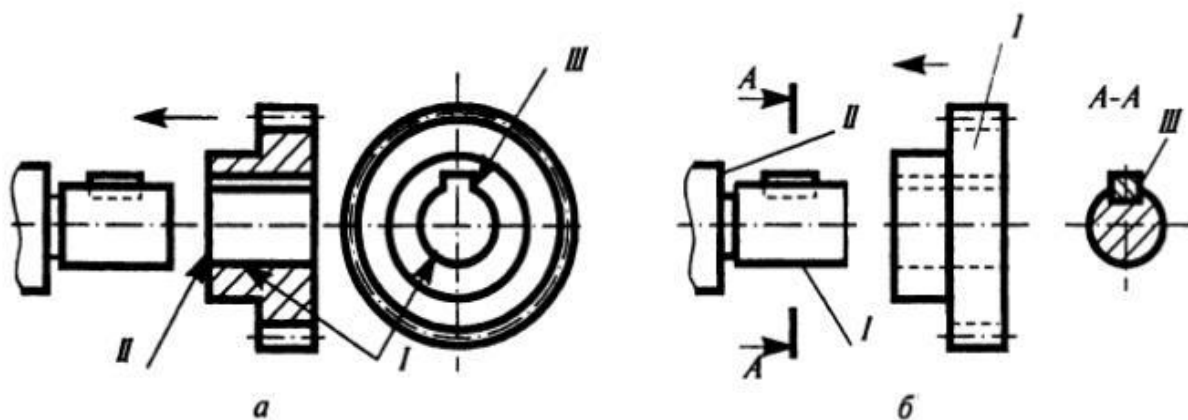
3.2.1 Класифікація баз за призначенням

Конструкторська база – це база, що використовується для визначення положення деталі або складальної одиниці у виробі (рисунки 3.4) [20].

Конструкторські бази поділяються на основні та допоміжні бази.

Основна база – це конструкторська база певної деталі або складальної одиниці, що використовується для визначення їхнього положення у виробі.

Допоміжна база – це конструкторська база певної деталі або складальної одиниці, що використовується для визначення положення виробу, що приєднується до них.



a – основні бази шестерні (I, II, III); *б* – допоміжні бази вала (I, II, III)

Рисунок 3.4 – Конструкторські бази

Вимірювальна база – це база, що використовується для визначення відносного положення заготовки або виробу і засобів вимірювання (рис. 3.5) [20].

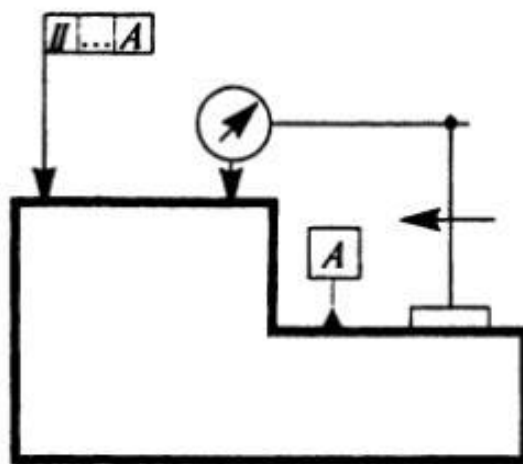


Рисунок 3.5 – Вимірювальна база

Технологічна база – це база, що використовується для визначення положення заготовки або виробу в процесі виготовлення або ремонту.

Технологічні бази поділяються на *контактні, настроювальні, перевірні, штучні* [7, 20].

Контактні бази – це технологічні бази, які безпосередньо стикаються з відповідними установочними поверхнями пристрою або верстата (рис. 3.6).

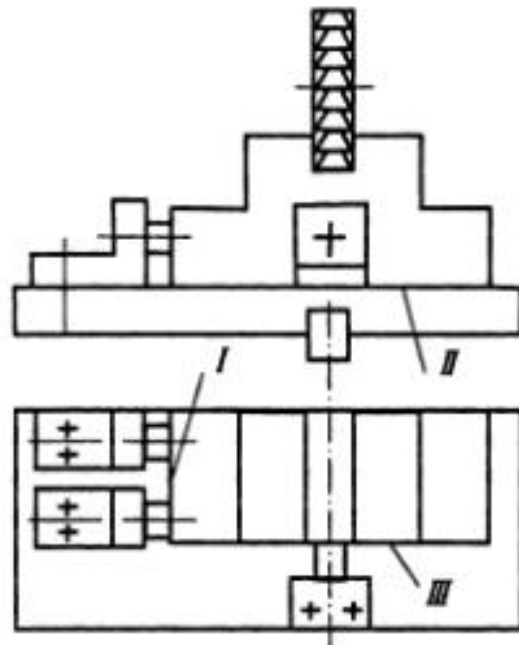


Рисунок 3.6 – Контактні бази

Настроювальна база – це поверхня заготовки, відповідно до якої орієнтуються поверхні, що обробляються (рисунк 3.7).

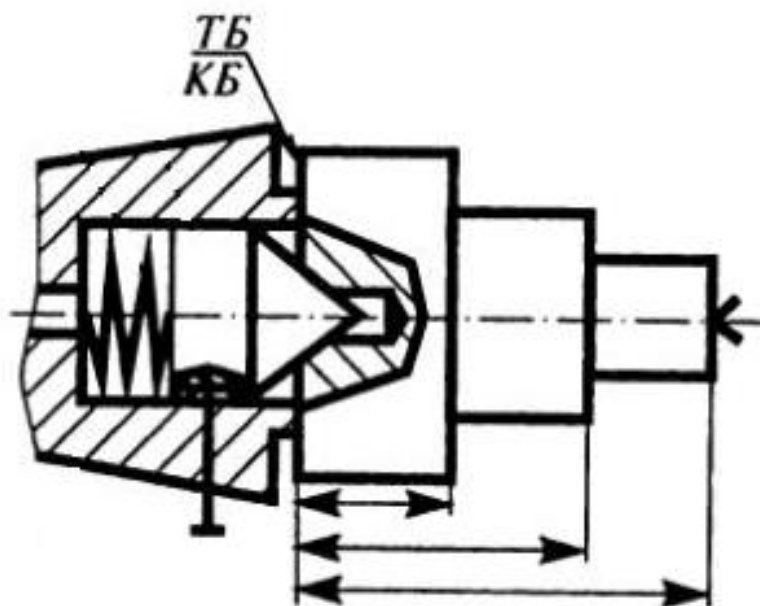


Рисунок 3.7 – Настроювальна база

Перевірні база – це поверхня, лінія або точка заготовки або деталі, відносно яких виконуються вивірка положення заготовки на верстаті або установка різального інструмента, а також вивірка положення інших деталей або складальних одиниць при складанні (рисунок 3.8).

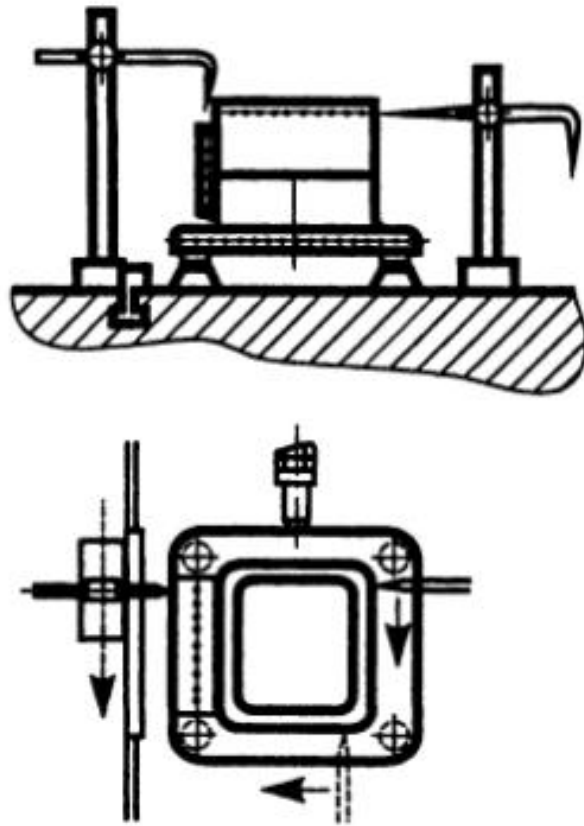


Рисунок 3.8 – Перевірні бази

Штучні технологічні бази створюються для можливості орієнтування і закріплення заготовки у пристрої (рисунок 3.9).

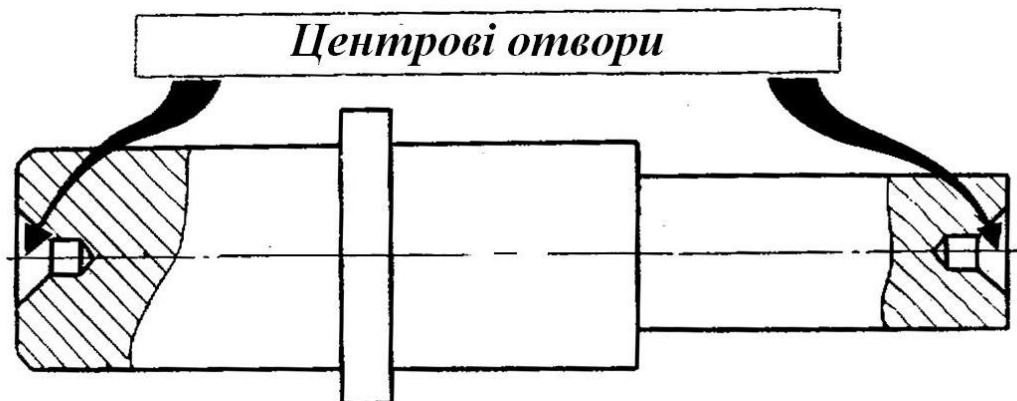


Рисунок 3.9 – Штучні технологічні бази

3.2.2 Класифікація баз за степенями вільності, які віднімаються у деталі

При базуванні призматичної заготовки розрізняють *установочну базу А* (рисунок 3.10), що контактує з 3 опорними точками (позбавляє заготовку 3 степенів вільності – обертання навколо осей OX та OY , та переміщення вздовж осі OZ), *напрямну базу В*, що контактує з 2 опорними точками (позбавляє заготовку 2 степенів вільності – обертання навколо осі OZ та переміщення уздовж осі OY) і *опорну (упорну) базу В*, що контактує з 1 опорною точкою (позбавляє заготовку 1 степеня вільності – переміщення уздовж осі OX) [7, 9].

Для повного орієнтування заготовки в пристрої необхідно використовувати комплект з усіх трьох баз.

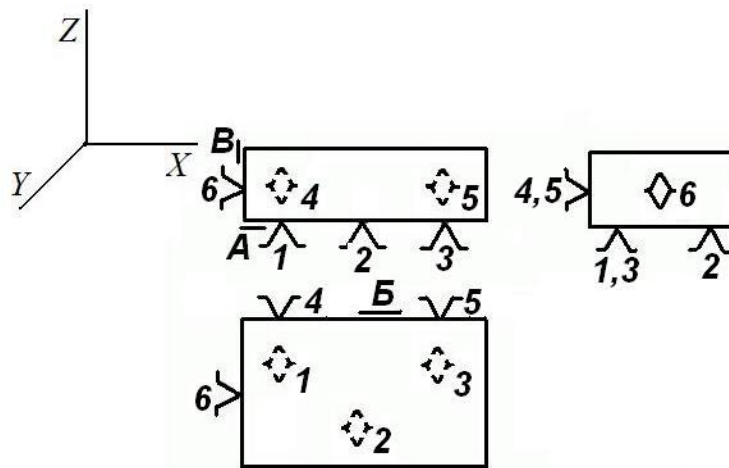


Рисунок 3.10 – Базування призматичного тіла

При базуванні довгого циліндричного тіла ($L > D$) (на призмі) розрізняють *подвійну напрямну базу А* (рисунок 3.11), що контактує з 4 опорними точками (позбавляє заготовку 4 степенів вільності – обертання навколо осей OZ та OY , та переміщення уздовж осей OZ та OY), *опорну базу В*, що контактує з 1 опорною точкою (позбавляє заготовку 1 степеня вільності – переміщення уздовж осі OX), другу *опорну базу В* (шпонкова канавка), що контактує з 1 опорною точкою (позбавляє заготовку 1 степеня вільності – обертання навколо осі OX) [7, 9].

При базуванні короткого циліндричного тіла ($L < D$) розрізняють *установочну базу А* (рисунок 3.12), що контактує з 3 опорними точками (позбавляє заготовку 3 степенів вільності – обертання навколо осей OX та OY , та переміщення уздовж осі OZ), *подвійну опорну базу В*, що контактує з 2 опорними точками (позбавляє заготовку 2 степенів вільності – переміщення уздовж осей OX та OY), і *опорну базу В*, що контактує з 1 опорною точкою (позбавляє заготовку 1 степеня вільності – обертання навколо осі OZ) [7, 9].

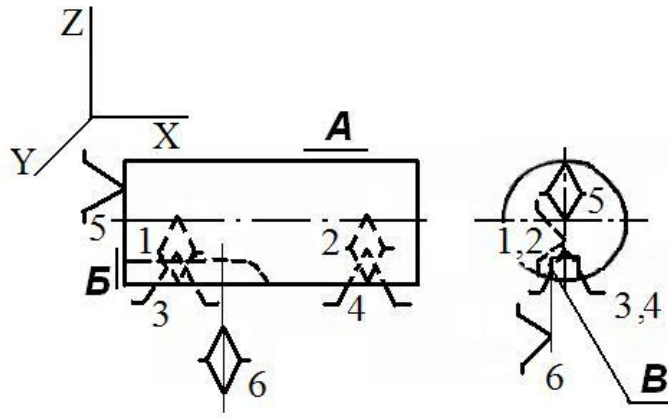


Рисунок 3.11 – Базування довгого циліндричного тіла

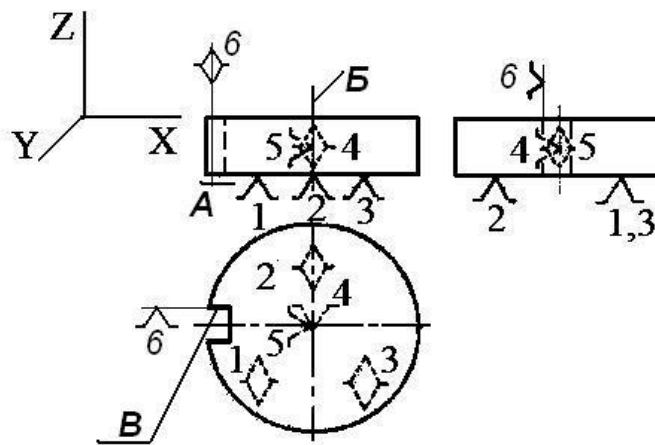


Рисунок 3.12 – Базування короткого циліндричного тіла

При базуванні деталі по довгій конічній поверхні з відносно невеликою конусністю (отвори в шпинделях верстатів, конічні оправки «тертя») розрізняють *опорно-напрямну базу А* (рисунок 3.13), що контактує з 5 опорними точками (позбавляє заготовку 5 степенів вільності – переміщення уздовж осей OX , OY , OZ та обертання навколо осей OY та OZ – поєднує в собі функції подвійної напрямної та опорної баз) [7, 9].

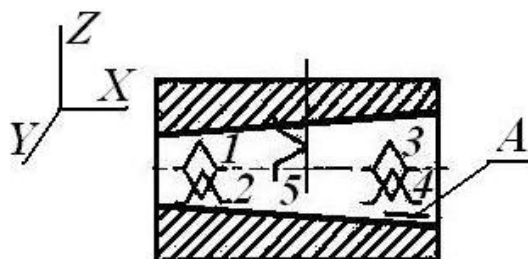


Рисунок 3.13 – Базування деталі по довгій конічній поверхні

При базуванні деталі по короткій конічній поверхні (в центрах) розрізняють *опорно-центрувальну базу* (лівий центровий отвір) (рис. 3.14), що

контактує з 3 опорними точками (позбавляє заготовку 3 степенів вільності – переміщення уздовж осей OX , OY та OZ – поєднує в собі функції опорної та подвійної опорної (центрувальної) баз), і *центрувальну базу* (правий центровий отвір), що контактує з 2 опорними точками (позбавляє заготовку 2 степенів вільності – обертання навколо осей OY та OZ – подвійна опорна база) [7, 9].

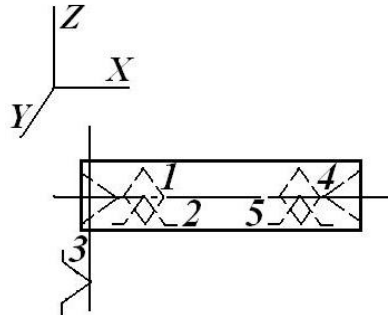


Рисунок 3.14 – Базування деталі по короткій конічній поверхні (в центрах)

Кількість баз, необхідних для базування. Повне орієнтування деталі (з позбавленням 6 степенів вільності) буває необхідним тільки в нерухомих з'єднаннях деталей складальних одиниць машин. В усіх випадках рухомих з'єднань деталі або складальні одиниці повинні зберігати визначені степені вільності. Наприклад: шпинделі верстатів позбавлені 5 степенів вільності – збережено обертання навколо своєї осі; ползки верстата – збережено 1 степінь вільності для переміщення по напрямних.

У залежності від технологічного завдання, що вирішується при механічній обробці заготовки, при її базуванні в пристрої або на верстаті можуть бути використані одна, дві або три бази, що несуть на собі три, чотири, п'ять або шість опорних точок (рисунок 3.15) [9].

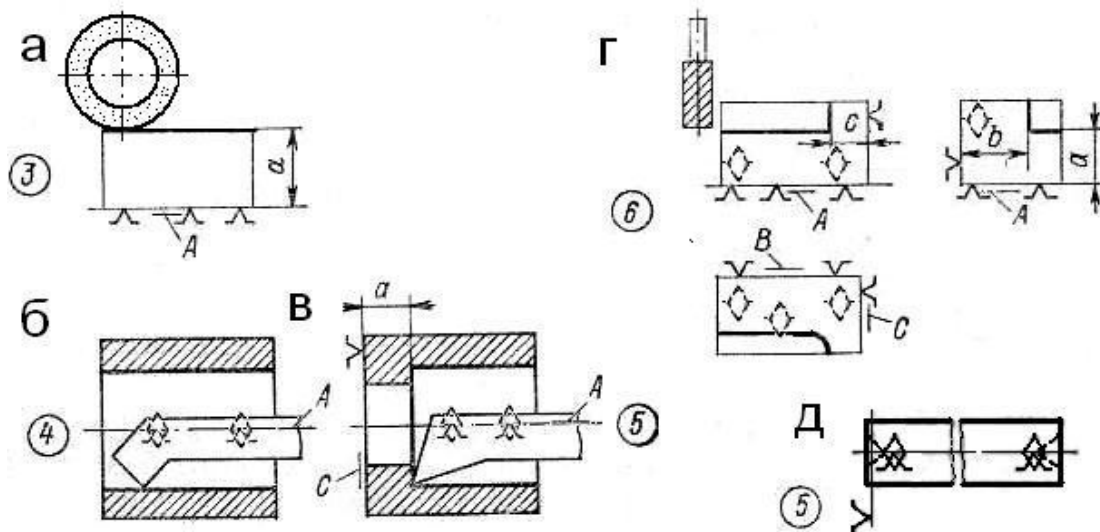


Рисунок 3.15 – Обробка заготовок з використанням однієї (а, б), двох (в, д) та трьох (г) баз

3.2.3 Класифікація баз за характером виявлення

За характером виявлення бази поділяються на явні та приховані.

Явна база – це база заготовки або виробу у вигляді реальної поверхні, розмічальної лінії або точки перетинання розмічальних ліній (рисунок 3.16, а). *Прихована база* – це база заготовки або виробу у вигляді уявлюваної площини, осі або точки (рисунок 3.16, б). Реалізація схем базування здійснюється за допомогою оправок (рисунок 3.16, в та 3.16, г відповідно) [7, 20].

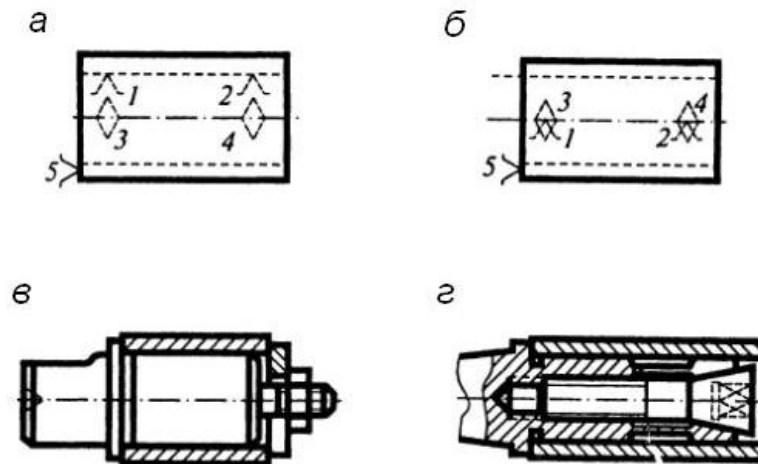


Рисунок 3.16 – Явна (а) і прихована (б) бази

3.3 Призначення технологічних баз. Похибки базування

Від правильності вирішення питання про технологічні бази залежать: фактична точність виконання лінійних розмірів, заданих конструктором; правильність взаємного розташування оброблюваних поверхонь; точність обробки, степінь складності та конструкція пристроїв, різальних та вимірювальних інструментів; загальна продуктивність обробки заготовки.

Питання про вибір технологічних баз вирішується технологом на початку проектування ТП одночасно з питанням про послідовність та види обробки окремих поверхонь заготовки.

Призначення технологічних баз починається з вибору чорнової бази.

Технологічна база, що використовується при першій установці заготовки, називається *чорною технологічною базою*.

Вибір баз для чорнової обробки. При виборі баз для чорнової обробки треба дотримуватись нижчезазначених рекомендацій [7, 9].

1. При обробці заготовок, отриманих литтям та штампуванням, необроблені поверхні як бази можна використовувати тільки на перших операціях. При подальшій обробці це не допускається.

2. Як технологічні бази треба вибирати поверхні достатніх розмірів, з більш високим квалітетом точності й найменшою шорсткістю. Ці поверхні не повинні мати ливарних ливників, окалин та інших дефектів.

3. У деталей, що не підлягають повній обробці, за чорнові технологічні бази рекомендується приймати поверхні, що взагалі не обробляються.

4. Якщо обробляються усі поверхні заготовки, то як чорнові технологічні бази доцільно приймати поверхні з найменшими припусками для запобігання появи необроблених поверхонь («чорнот») при подальшій обробці.

5. База для першої операції повинна вибиратись для забезпечення умов обробки поверхонь, що використовуються в подальшому як технологічні бази.

Вибір баз для чистової обробки. При виборі баз для чистової обробки треба дотримуватись наступних рекомендацій [7, 9]:

1. При виборі чистових баз треба дотримуватись принципів сполучення (єдності) та сталості баз.

2. Бази для чистової обробки повинні мати найбільшу точність розмірів та геометричної форми, а також найменшу шорсткість поверхні. Вони не повинні деформуватись під дією сил різання, затискання та власної маси деталі.

3. Вибрані технологічні бази повинні разом з пристроями забезпечити надійне кріплення деталі та незмінність її положення під час обробки.

4. Прийняті технологічні бази та метод базування повинні визначити найбільш просту та надійну конструкцію пристрою, зручність установки та зняття оброблюваної деталі.

Принцип сполучення (єдності) баз полягає в тому, що при призначенні технологічних баз для точної обробки або складання як технологічні бази необхідно приймати поверхні, що одночасно є конструкторськими і вимірювальними базами.

Приклад. На деталі висотою $b = 50h14_{(-0,62)}$ у відповідності із кресленням треба виконати паз глибиною $a = 10H14_{(+0,36)}$ (рисунок 3.17, а) [8].

На першій операції заготовку установлюють у пристрій, базуючи по поверхні B ; настроюють фрезу діаметром d на розмір $k = b + (d/2)$ та фрезерують в розмір b (рисунок 3.17, б). На наступній операції в тому ж пристрої за допомогою тристоронньої фрези діаметром D_ϕ виконують паз, попередньо налаштувавши верстат на розмір $k = c + (D_\phi/2)$ (рисунок 17, в), де $c = b - a = 50 - 10 = 40$ мм – технологічний розмір, отриманий при розв'язанні рівняння розмірного ланцюга, показаного на рисунку 3.17, г: $a = \bar{A}_\Delta$, $b = \bar{A}_2$, $c = \bar{A}_1$.

При виконанні першої операції технологічна установочна база, поверхня B , співпадала з конструкторською і вимірювальною базами. На другій операції поверхня A , конструкторська і вимірювальна база, від якої заданий розмір a , з технологічною базою не співпадає. У такому випадку для визначення граничних значень настроювального розміру k треба

розв'язувати зазначений розмірний ланцюг, в якому розмір a , що треба виконати, розглядають як замикаючу ланку, а настроювальний розмір c – як складовий ланцюг.

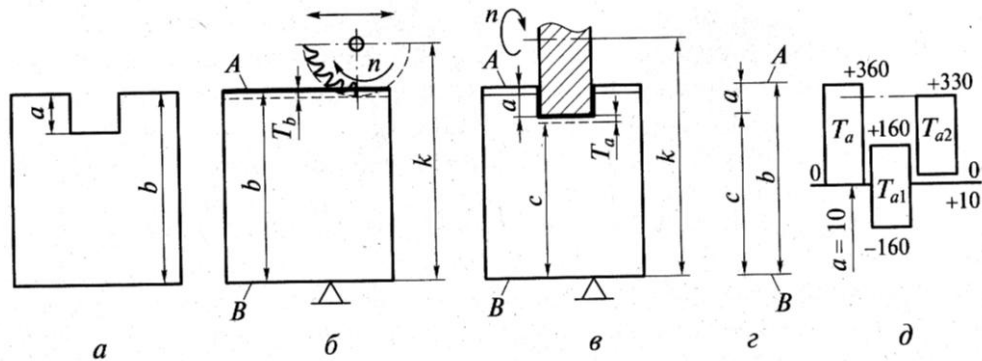


Рисунок 3.17 – Послідовність обробки заготовки (а, б, в), її розмірний ланцюг (г), поля допусків (д)

Відповідно до теорії розмірних ланцюгів допуск замикаючої ланки повинен дорівнювати сумі допусків складових ланцюгів:

$$T_{A_{\Delta}} = T_{A_1} + T_{A_2}, \text{ звідки } T_{A_1} = T_{A_{\Delta}} - T_{A_2}.$$

Маємо $T_{A_1} = 0,36 - 0,62 = -0,26$ мм. Від'ємне значення допуску свідчить про те, що при заданих значеннях допусків розмірів a і b та прийнятій схемі обробки отримати розмір c з потрібною точністю неможливо. Надзвичайно великі допуски на складові ланки A_1 і A_2 – 0,36 та 0,62 мм відповідно.

Для розв'язання рівняння треба або збільшити допуск T_{A_1} зменшувального або зменшити допуск T_{A_2} збільшувального ланцюга. Величина $T_{A_{\Delta}} = 0,36$ мм задана кресленням і зменшена бути не може, тобто розмір b повинен бути виконаний з підвищеною точністю.

Прийmemo $b = \bar{A}_2 = 50h11_{(-0,16)}$. Тоді розрахунковий допуск технологічного розміру $T_{A_1} = 0,36 - 0,16 = 0,2$ мм.

Прийнявши для c поле допуску за $h11$, будемо мати $b = \bar{A}_2 = 50h11_{(-0,16)}$ та $c = \bar{A}_1 = 40h11_{(-0,16)}$. У такому випадку

$$\begin{aligned} A_{\Delta}^{\max} &= \bar{A}_1^{\max} - \bar{A}_2^{\min} = 50 - 39,84 = 10,16, \\ A_{\Delta}^{\min} &= \bar{A}_2^{\min} - \bar{A}_1^{\max} = 49,84 - 40 = 9,84, \\ T_{A_{\Delta}} &= A_{\Delta}^{\max} - A_{\Delta}^{\min} = 10,16 - 9,84 = 0,32, \\ a &= A_{\Delta} = 10 \pm 0,16. \end{aligned}$$

Розрахункове значення допуску T_{A_Δ} близьке до конструкторського, але поле допуску є зміщеним (див. рисунок 3.17, *д*). Зменшимо номінальний розмір c на 0,16 мм, приймемо $c = \bar{A}_1 = (39,84_{-0,16})$ мм. Відповідно до ГОСТ 25347–82 найближче поле допуску $b11$, при якому $c = \bar{A}_1 = 40b11_{(-0,17)}^{(-0,33)}$ мм. У цьому випадку:

$$\begin{aligned} A_{\Delta}^{\max} &= \bar{A}_1^{\max} - \bar{A}_2^{\min} = 50 - 39,67 = 10,33, \\ A_{\Delta}^{\min} &= \bar{A}_2^{\min} - \bar{A}_1^{\max} = 49,84 - 39,83 = 10,01, \\ T_{A_{\Delta}} &= A_{\Delta}^{\max} - A_{\Delta}^{\min} = 10,33 - 10,01 = 0,32, \\ a &= A_{\Delta} = 10_{+0,01}^{+0,33}. \end{aligned}$$

Порівняно з конструкторським допуском значення технологічного допуску зменшилось на 40 мкм. Замість конструкторського розміру $b = 50h14$ треба установлювати технологічний $b = 50h11$ з різницею в допусках $\delta_{T_b} = 620 - 160 = 460$ мкм, що ускладнює обробку та призведе до збільшення вартості процесу.

Розміри для настройки фрези при фрезеруванні паза:

$$k^{\max} = 39,67 + D_{\phi} / 2; \quad k^{\min} = 39,83 + D_{\phi} / 2$$

з допуском настройки

$$T_k = k^{\max} - k^{\min} = 39,83 - 39,67 = 0,16 \text{ мм.}$$

Використання спеціального пристрою (рисунок 3.18, *а*) дозволяє фрезерувати паз безпосередньо від поверхні A .

Технологічна база співпадає з конструкторською та вимірювальною базами. Настроювальний розмір $k = (D_{\phi} / 2) - a$.

При використанні поверхні A як технологічної бази, з якою поверхня C зв'язана розміром a , треба створити спеціальний інструмент або підібрати комплект фрез с різницею діаметрів $D_{\phi 1} - D_{\phi 2} = 2a$ (рисунок 3.18, *б*).

Принцип сталості баз полягає в тому, що при розробці й реалізації технологічних процесів необхідно прагнути використовувати той самий комплект технологічних баз на всіх операціях виготовлення виробу, не допускаючи зміни технологічних баз.

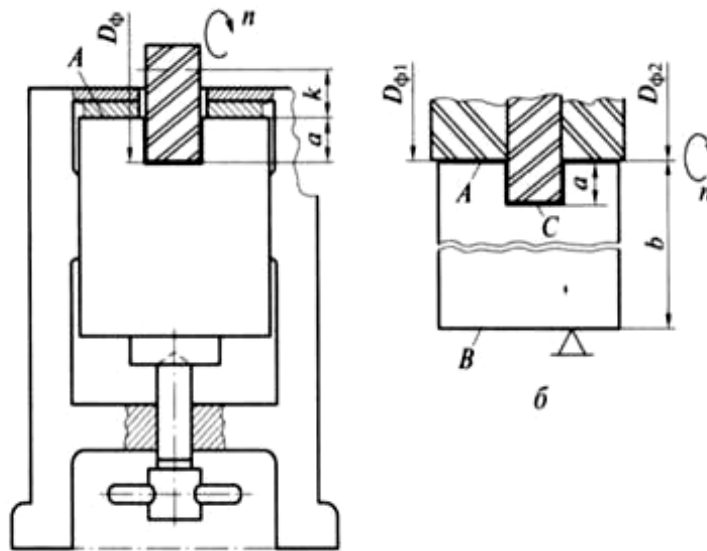


Рисунок 3.18 – Схеми обробки паза з використанням контактної (а) і настроювальної (б) баз

Приклад. У пластині довжиною $b = 100_{-0,46}$ мм (рисунок 3.19, а) спочатку свердлять центровий отвір, а потім – два отвори меншого діаметру, розташовані на відстані $c = 20 \pm 0,1$ мм від центрального отвору [8].

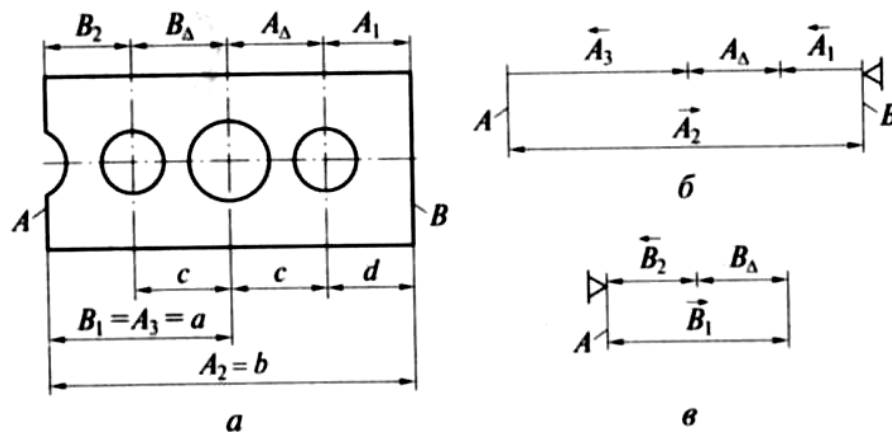


Рисунок 3.19 – Пластина (а) та її розмірні ланцюги (б, в)

Варіант 1. Центральний отвір свердлять на відстані $a = 50^{+0,05}$ мм від поверхні A , прийнятої за технологічну базу. Малі отвори виконують на відстані d (і $d + 2c$) від поверхні B , прийнятої за другу технологічну базу. Для налагодження верстата (або при проектуванні свердлильного пристрою – кондуктора) треба визначити номінальне значення і допуск розміру d , який є складовим ланцюгом A_1 чотириланкового розмірного ланцюга A (рисунок 3.19, б). Замикаючою ланкою A_4 у цьому розмірному ланцюгу є розмір c , заданий на кресленні. Номінальне значення розміру

$$\bar{A}_1 = \bar{A}_2 - (\bar{A}_3 + A_\Delta) = 100 - (50 + 20) = 30 \text{ мм.}$$

Допуск розміру d визначимо з умови

$$T_{A\Delta} = T_{A1} + T_{A2} + T_{A3},$$

звідки $T_{A1} = T_{A\Delta} - T_{A2} - T_{A3} = 0,2 - 0,05 - 0,46 = -0,31$ мм.

Допуск від'ємним бути не може. При заданих допусках розмірів обробка від бази B неможлива. Зменшимо допуск довжини пластини в 4,5 рази, прийнявши $b = 100_{-0,1}$ мм, тоді

$$T_{A1} = 0,2 - 0,05 - 0,1 = 0,05 \text{ мм.}$$

Варіант 2. При свердленні центрального й обох бокових отворів використовують одну й ту ж технологічну базу – поверхню A . Для розрахунку номінального значення й допуску технологічного розміру d розв'яжемо рівняння триланкового розмірного ланцюга B (рисунок 3.19, в):

$$\vec{B}_2 = \vec{B}_1 - B_{\Delta} = 50 - 20 = 30 \text{ мм.}$$

З умови $T_{B\Delta} = T_{B1} - T_{B2}$ визначаємо, що

$$T_{B2} = T_{B\Delta} - T_{B1} = 0,2 - 0,05 = 0,15 \text{ мм.}$$

Таким чином, при дотриманні принципу постійності баз допуск технологічного розміру отримаємо в 3 рази більше, а точність виготовлення довжини пластини (допуск розміру b) взагалі не має значення.

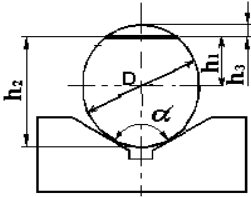
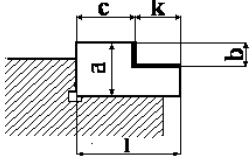
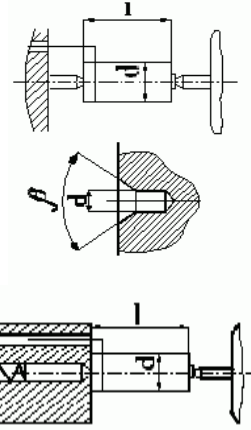
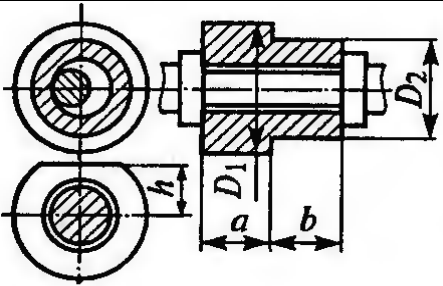
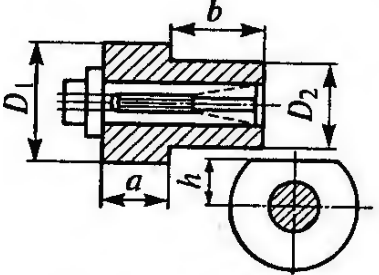
Збереження постійної технологічної бази при обробці заготовок на різних операціях зменшує похибку взаємного розташування оброблюваних поверхонь.

Похибка базування виникає в результаті незбігу технологічної і вимірювальної баз. При роботі на верстатах, що налагоджені на розмір, похибка базування може вплинути на точність отриманих розмірів.

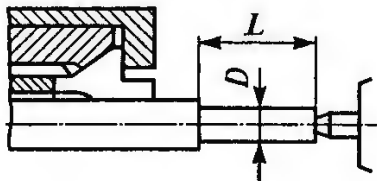
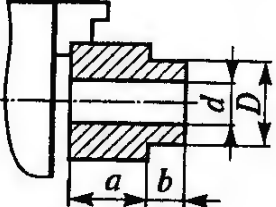
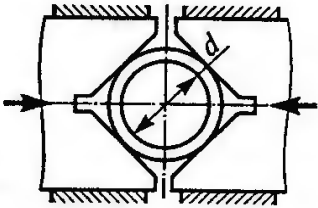
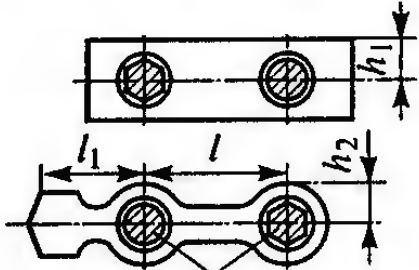
При роботі на верстатах за методом пробних ходів та промірів похибка базування, що може виникнути при установці заготовки, може бути усунена шляхом внесення поправки в положення різального інструмента після першого пробного робочого ходу.

Формули для визначення похибки базування наведені в таблиці 3.1 [2, 7, 8].

Таблиця 3.1 – Визначення похибок базування

Базування	Схема установки	Формули для розрахунку похибки базування
В призмі при обробці паза або площини		$\varepsilon_{h1} = \frac{ITD}{2} \frac{1}{\sin \alpha / 2}$ $\varepsilon_{h2} = \frac{ITD}{2} \left(\frac{1}{\sin \alpha / 2} - 1 \right)$ $\varepsilon_{h3} = \frac{ITD}{2} \left(\frac{1}{\sin \alpha / 2} + 1 \right)$ <p><i>ITD</i> – допуск на діаметр <i>D</i></p>
По площинах		$\varepsilon_b = ITa$ $\varepsilon_k = ITl$ $\varepsilon_c = 0$
По центрових отворах: на жорсткий передній центр на плаваючий передній центр		$\varepsilon_l = \Delta_{\text{ц}} = \frac{ITd}{2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}$ $\varepsilon_d = 0$ $\varepsilon_l = 0$ $\varepsilon_d = 0$
По отвору: на жорсткій оправці з посадкою із зазором		$\varepsilon_{D1} = \varepsilon_{D2} = \varepsilon_h =$ $= S_{\min} + ITB + ITA$ <p><i>S_{min}</i> – мінімальний гарантований зазор; <i>ITB</i> – допуск на розмір оправки; <i>ITA</i> – допуск на розмір базового отвору.</p> <p>При установці оправки на плаваючий передній центр, в гільзу або патрон до упору $\varepsilon_a = 0$; $\varepsilon_b = 0$</p>
на розтискній оправці; на жорсткій оправці з посадкою з натягом		$\varepsilon_{D1} = 0; \varepsilon_{D2} = 0; \varepsilon_h = 0;$ $\varepsilon_a = 0; \varepsilon_b = ITA.$ <p>При установці оправки на жорсткий передній центр $\varepsilon_a = \Delta_{\text{ц}}; \varepsilon_b = 0$</p>

Продовження таблиці 3.1

Базування	Схема установки	Формули для розрахунку похибки базування
По зовнішній поверхні в затискній цанзі по упору		$\varepsilon_D = 0; \varepsilon_L = 0$
В самоцентрувальному патроні з упором		$\varepsilon_D = 0; \varepsilon_d = 0; \varepsilon_a = 0; \varepsilon_b = 0$ (при паралельному підрізанні торців)
В самоцентрувальних призмах		$\varepsilon_d = 0$
По двох отворах на пальцях: при обробці верхньої поверхні	 <p style="text-align: center;">Палець</p>	$\varepsilon_{h_1} = S_{\min} + ITB + ITA$ $\varepsilon_{h_2} = (S_{\min} + ITB + ITA) \times (2l_1 + 1) / l$

Контрольні запитання

- 1 Що розуміють під базуванням та базою в машинобудуванні?
- 2 Як класифікуються бази в машинобудуванні?
- 3 Що представляють собою конструкторські, вимірювальні та технологічні бази? Наведіть приклади.
- 4 Як класифікуються бази за степенями вільності, які віднімаються у деталі? Показати базування призматичної заготовки, деталей типу тіл обертання.
- 5 У чому полягають принципи сполучення та постійності технологічних баз? Наведіть приклади.
- 6 Які правила вибору чорнових і чистових технологічних баз?
- 7 Які причини виникнення похибки базування й методи її визначення?

4 ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ

4.1 Точність у машинобудуванні та методи її досягнення

Точність більшості виробів машинобудування є важливішою характеристикою їх якості. Сучасні потужні та високошвидкісні машини не можуть функціонувати при недостатній точності їх виготовлення у зв'язку з виникненням додаткових динамічних навантажень та вібрацій, що порушують нормальну роботу машин та викликають їх руйнацію [8, 9].

Підвищення точності виготовлення деталей та складання вузлів збільшує довговічність та надійність експлуатації механізмів і машин.

Підвищення точності вихідних заготовок зменшує трудомісткість механообробки, зменшує величини припусків на обробку деталей.

Підвищення точності механічної обробки усуває припасовувальні роботи на складанні, дозволяє здійснити принцип взаємозамінності деталей та вузлів при складанні та запровадити потокове складання.

Під *точністю деталі* розуміють її відповідність вимогам креслення: за розмірами, геометричною формою, взаємним розташуванням оброблюваних поверхонь, їх шорсткістю.

Точність складання – це степінь відповідності машини або з'єднання надійно функціонуючому прототипу в заданих умовах експлуатації.

Заданої точності обробки заготовки можна досягти двома методами: пробних ходів та промірів і автоматичного отримання розмірів на налагоджених верстатах.

Метод пробних ходів та промірів. Метод використовують в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва. Заготовки з індивідуальною вивіркою або без вивірки установлюють на верстат. Потім до оброблюваної поверхні підводять різальний інструмент та з короткої ділянки знімають пробну стружку. Верстат зупиняють, вимірюють отриманий розмір, визначають величину його відхилення від заданого на кресленні та коректують положення різального інструмента за шкалою лімбу верстата. Знову виконують робочий хід на пробній ділянці та знову – контроль отриманого розміру. Таким чином, шляхом поступового наближення за допомогою пробних ходів та промірів установлюють правильне положення інструмента відносно заготовки, при якому виконується заданий розмір. Після цього обробляють всю поверхню заготовки. Для обробки наступної заготовки метод пробних ходів та промірів повторюють [8].

Метод пробних ходів та промірів дозволяє:

- на неточному обладнанні можна отримати високу точність обробки;
- виключається вплив зношення інструмента при обробці партії дрібних заготовок;
- при неточній заготовці дозволяє правильно розподілити припуск;

- немає необхідності у виготовленні складних та дорогих пристроїв (кондукторів, поворотних пристроїв).

Недоліки метода пробних ходів та промірів:

- залежність точності, що досягається, від мінімальної товщини стружки;

- поява браку з вини робітника;
- низька продуктивність обробки;
- висока собівартість.

Метод автоматичного отримання розмірів на налагоджених верстатах. Метод використовується в серійному та масовому виробництвах. Сутність методу: заготовку без розмітки та вивірки установлюють у спеціальні пристрої, обробка виконується за один робочий хід попередньо налагодженим на розмір різальним інструментом. Налагодження верстата на розмір для обробки партії деталей та його підналагодження за еталоном або методом пробних ходів та промірів, а також заміну зношеного різального інструмента виконують наладчики.

Верстат попередньо налагоджується таким чином, щоб потрібна точність досягалась автоматично, тобто майже незалежно від кваліфікації та уваги робітника-оператора. Точність отриманих розмірів контролюють контролери [8].

Переваги методу автоматичного отримання розмірів:

- підвищення точності обробки та зменшення браку;
- підвищення продуктивності обробки;
- обробка виконується малокваліфікованим робітником;
- зменшення собівартості.

4.2 Систематичні похибки обробки

Систематична похибка – це похибка, яка для усіх заготовок партії залишається постійною (постійна систематична похибка $\Delta_{\text{сист}}$) або закономірно змінюється при переході від кожної оброблюваної заготовки до наступної (змінна систематична похибка $\Delta_{\text{п.с.}}$) [8, 9, 15].

а) Похибки, що виникають внаслідок неточності, зношення та деформації верстатів. Внаслідок похибок виготовлення основних деталей, їх зношення, неточності складання виникають відхилення основних характеристик точності верстатів від нормальних значень. Величини допустимих відхилень регламентуються нормами точності. Точність верстатів в ненавантаженому стані називається геометричною. За точністю верстати класифікуються за 5 групами: нормальної точності (Н) – похибка 100 %; підвищеної (П) – 60 %; високої (В) – 40 %, особливо високої (А) – 25 %, особливо точні (С) – 16 %.

До основних характеристик геометричної точності верстатів належать:

- радіальне та торцеве биття шпинделів;
- биття конічного отвору в шпинделі;
- прямолінійність та паралельність напрямних;
- паралельність осей шпинделів токарних верстатів у напрямку руху кареток у вертикальній та горизонтальній площині;
- перпендикулярність осей шпинделів свердлильних верстатів відносно площини столів та ін.

Похибки геометричної точності верстатів повністю або частково переносяться на оброблювані заготовки у вигляді систематичних похибок.

Наприклад, відхилення від паралельності осі шпинделя токарного верстата напрямку руху супорта в горизонтальній площині приводить до появи конусоподібності у оброблюваній заготовці; у вертикальній площині – до гіперболоїду обертання (рисунок 4.1, *a...в*).

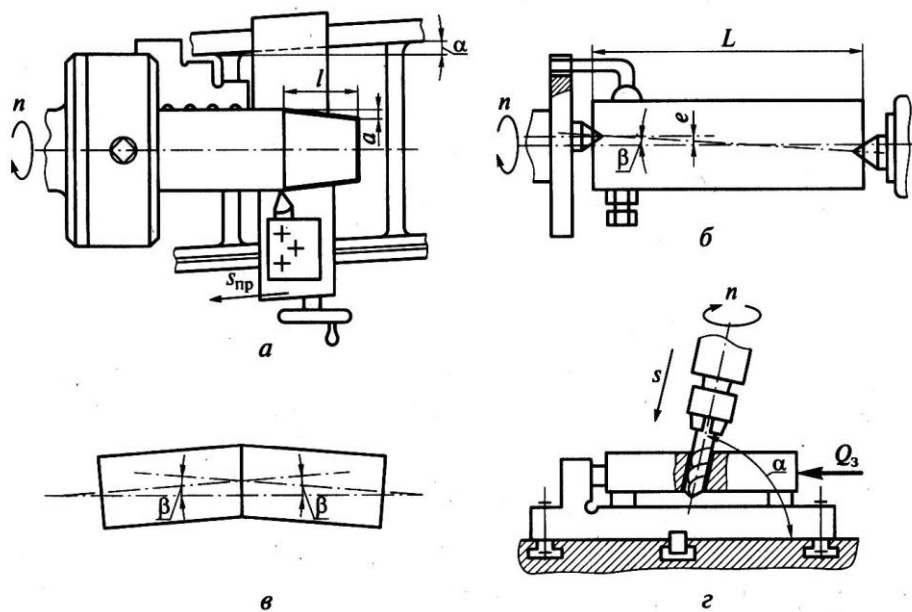


Рисунок 4.1 – Схема утворення похибок обробки на токарних (а...в) та свердлильному верстаті (г)

Биття шпинделя токарних та круглошліфувальних верстатів спотворює форму оброблюваної заготовки в поперечному перерізі.

Биття осі конуса отвору шпинделя свердлильного верстата відносно осі обертання шпинделя викликає розбивку отвору, тобто збільшення його діаметру (рисунок 4.1, *г*).

Зношення верстатів призводить до збільшення систематичної похибки оброблюваних заготовок.

Деформація верстатів при їх неправильному монтажі, а також під дією сил при осіданні фундаментів викликає додаткові систематичні похибки обробки.

б) Похибки, пов'язані з неточністю та зношенням різального інструмента. Зношення різального інструмента (рисунок 4.2) при роботі на налагоджених верстатах за методом автоматичного отримання розмірів

призводить до виникнення змінної систематичної похибки обробки. (Неточність різального інструмента чинить незначний вплив на точність обробки через достатню точність його виготовлення на інструментальних заводах (зенкери, протяжки, розгортки)).

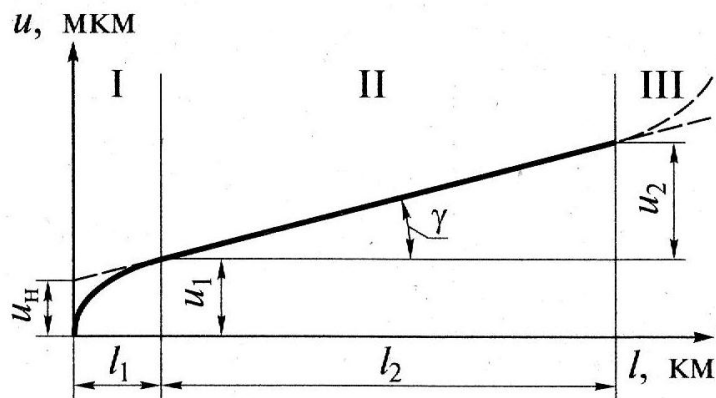


Рисунок 4.2 – Залежність зношення інструмента та від довжини шляху різання l

Зношення інструмента підпорядковується тим же загальним закономірностям, що й контактні тіла при терті ковзання. У початковий період відбувається приробіток різального леза, що супроводжується викришуванням окремих нерівностей та вигладжуванням рисок – слідів заточування різальних граней. Тривалість початкового зношення (ділянка I), що виражається довжиною l_1 шляху різання (див. рисунок 4.2), дорівнює 500 м (для доведеного інструмента) та 2000 м (для загостреного інструмента).

Інтенсивність зношення на етапі нормального зношення різального інструмента (ділянка II) визначається відносним (питомим) зношенням u_B , мкм/км

$$u_B = \frac{u_2}{l_2},$$

де u_2 – розмірне зношення, мкм;

l_2 – шлях різання, км.

Третій період (ділянка III) характеризується швидким зношуванням інструмента; через незначний проміжок часу виникає викришування різальної кромки та поломка.

Знаючи для конкретних умов обробки значення u_H та u_B , визначають розмірне зношення інструмента u , мкм, на всій довжині різання l :

$$u = u_H + \frac{u_B l}{10^6}.$$

Для розрахунку розмірного зношення інструмента в конкретних умовах загальну залежність подають у вигляді:

- для поздовжнього точіння

$$u = u_H + u_B \frac{\pi D l}{10^6 s},$$

- для торцевого фрезерування

$$u = u_H + u_B \frac{lB}{10^6 z s_z},$$

де l – довжина обробки, мм;

D – діаметр заготовки, мм;

s – подача, мм/об;

B – ширина фрезерування, мм;

z – кількість зубів фрези;

s_z – подача, мм/зуб.

Відносне (питоме) зношення u_B різального інструмента залежить від матеріалу різального інструмента, режимів різання (зі збільшенням подачі зношення збільшується), матеріалу оброблюваної деталі (зі збільшенням твердості матеріалу зношення збільшується), жорсткості технологічної системи (зі збільшенням жорсткості зношення зменшується).

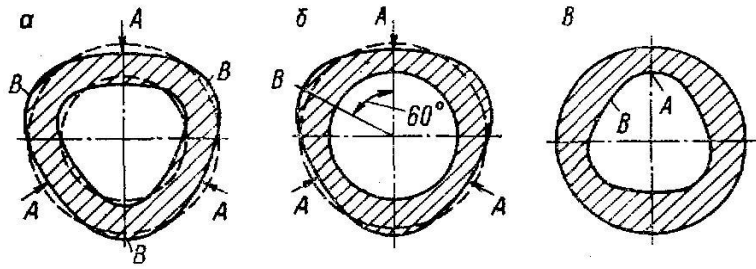
в) Вплив сили затискання заготовки на похибку обробки. Сили затискання (закріплення) заготовок у пристрої спричиняють пружні деформації заготовок, які призводять до виникнення похибки форми заготовок (рисунок 4.3).

Похибка геометричної форми отвору втулки визначається як різниця найбільшого та найменшого радіусів (рисунок 4.3, в).

Зі збільшенням кількості кулачків похибки форми зменшуються. Наприклад, для двокулачкового патрона похибка форми отвору втулки – 100 %, для трикулачкового патрона – 21 %, для чотирикулачкового патрона – 8 %, для шестикулачкового патрона – 2 % [9].

Причиною виникнення похибок заготовок можуть бути сили ваги (деформація під дією власної маси), відцентрові сили та залишкові напруження.

При односторонньому знятті припуску або знятті нерівномірного припуску в заготовці відбувається перерозподіл внутрішніх напружень, що призводить до пружних деформацій заготовки та викликає систематичні похибки геометричної форми деталі.



a – пружна деформація втулки при закріпленні в трикулачковому патроні; б – форма отвору після розточування; в – форма отвору після розкріплення втулки

Рисунок 4.3 – Схема виникнення похибки форми отвору тонкостінної втулки

г) Похибки, обумовлені пружними деформаціями технологічної системи під впливом нагрівання

Теплові деформації верстатів. Основні причини нагрівання верстатів наступні:

- втрати на тертя в рухомих механізмах верстатів (підшипниках, зубчастих передачах), гідроприводах, електроустаткуванні;
- теплопередача від охолоджувальної рідини;
- нагрівання від зовнішніх джерел (від сонячних променів), охолодження через фундамент.

Важливий вплив на точність обробки спричиняє нагрівання шпиндельних бабок шпинделів. Нагрівання передньої бабки токарного верстата спричиняє зміщення осі шпинделя на робітника, що приводить до поступової зміни розмірів та форми заготовок (крупних валів) (виникає змінна систематична похибка).

Для усунення похибки обробки, пов'язаної з тепловими деформаціями верстата, виконують попереднє прогрівання верстата на холостому ході протягом 2–3 годин. Наступну обробку треба виконувати без значних перерв у роботі верстата.

Теплові деформації інструмента. При різанні частина тепла, що виділяється, викликає нагрівання та здовження різального інструмента. Крива 1 (рисунок 4.4) відповідає здовженню різця в залежності від часу обробки, а крива 2 – зміні розмірів інструмента при охолодженні. Орієнтовно величина здовження різця прямо пропорційна довжині вильоту різця l , міцності σ_B оброблюваного матеріалу, глибині різання t , подачі s , швидкості різання v та зворотно пропорційна площі F поперечного перерізу державки:

$$\Delta l = C_v \frac{l}{F} \sigma_B (ts)^{0,75} \sqrt{v},$$

де C_v – коефіцієнт, що залежить від виду обробки, матеріалу різальної частини інструмента, величини подачі, матеріалу заготовки.

При підвищенні швидкості, збільшенні вильоту різця здовження різця збільшується; при збільшенні товщини пластинки твердого сплаву, застосуванні охолодження (МОТС) здовження різця зменшується.

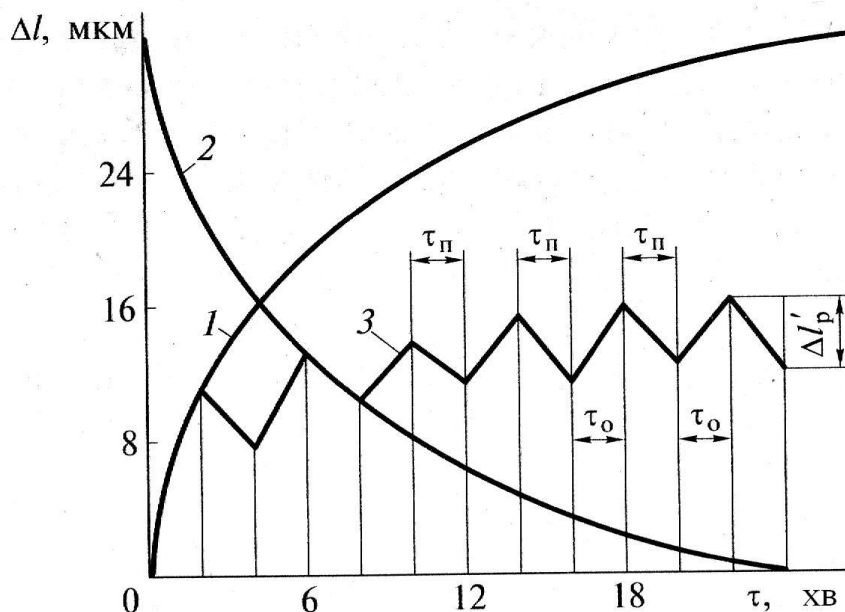


Рисунок 4.4 – Нагрівання та охолодження різця при механічній обробці

При роботі з перервами починається охолодження різця та його укорочення, яке продовжується до початку наступного періоду різання (крива 3, рисунок 4.4).

Загальне здовження Δl_p різця при ритмічній роботі з перервами приблизно складає

$$\Delta l_p = \Delta l_p \frac{T_{\text{маш}}}{T_{\text{маш}} + T_{\text{пер}}}$$

де $T_{\text{пер}}$ – тривалість перерв основного (машинного) часу.

Якщо ритмічність відсутня, то це призводить до розсіювання розмірів заготовок у партії, а при обробці крупних деталей у важкому машинобудуванні може викликати похибки форми оброблюваної поверхні. Для підвищення точності обробки, особливо при чистовій обробці, необхідне безперервне охолодження різальної кромки інструмента безпосередньо в зоні різання.

Теплові деформації заготовки. Частина теплоти, що виділяється в зоні різання, переходить до оброблюваної заготовки, що викликає зміну її розмірів та появу похибок обробки.

При рівномірному нагріванні заготовки виникає похибка розмірів, а при місцевих нагріваннях окремих ділянок виробів – жолоблення, що викликає утворення похибки форми, особливо для нежорстких деталей.

Зі збільшенням швидкості різання, подачі, використанням охолодження температура оброблюваної деталі зменшується, а зі збільшенням глибини різання – температура деталі підвищується.

д) **Похибки теоретичної схеми обробки.** При обробці складних профілів фасонних деталей схема обробки передбачає визначені припущення та приблизні рішення кінематичних задач та спрощення конструкції різальних інструментів, що викликає появу систематичних похибок обробки [9].

Наприклад, при нарізанні зубчатих коліс черв'ячними фрезами теоретична схема обробки порушується нахилом канавки, що утворює ріжучі леза фрези, що приводить до систематичної похибки евольвентного профілю зуба.

Аналогічно виникають похибки евольвенти при зубодовбанні у зв'язку з порушенням правильного профілю довбачів при утворенні переднього кута при заточці.

При нарізанні модульними фрезами систематичну похибку профілю зуба викликає невідповідність кількості нарізуваних зубів колеса кількості, для якої була спроектована фреза.

4.3 Випадкові похибки обробки

Випадкова похибка – це похибка, яка для різних заготовок партії, що розглядається, має різні значення, причому їх поява не підпорядковується ніякій закономірності.

Причини виникнення випадкових похибок [8, 9, 15]:

- коливання твердості оброблюваного матеріалу та величини припуску, що знімається;
- похибки базування та закріплення заготовки у пристрої;
- неточності установки положення супортів за упорами та лімбами;
- коливання температурного режиму обробки, сил різання.

Для виявлення та аналізу закономірностей розподілу розмірів заготовок при їх розсіюванні використовуються методи математичної статистики.

Закони розсіювання (розподілу) розмірів. Сукупність значень дійсних розмірів заготовок, що обробляються при незмінних умовах та розташованих у зростаючому порядку за зазначенням частоти повторення цих розмірів або частостей, називається *розподілом розмірів*.

Частість – це відношення кількості заготовок одного розміру до загальної кількості заготовок партії.

Розподіл розмірів заготовок підпорядковується різним математичним законам: нормального розподілу (закон Гауса), рівнобедреного трикутника (закон Симпсона), ексцентриситету (закон Релея), рівної ймовірності та функції розподілу.

Закон нормального розподілу (закон Гауса). Рівняння кривої нормального розподілу (рисунок 4.5)

$$Y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(d_i - \bar{d})^2}{2\sigma^2}},$$

де σ – середнє квадратичне відхилення;

e – основа натурального логарифму ($e = 2,71828$);

d_i – поточний дійсний розмір;

\bar{d} – середнє арифметичне значення розмірів заготовок даної партії.

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum d_i f_i,$$

де f_i – частота (кількість заготовок даного інтервалу розмірів);

n – кількість заготовок у партії.

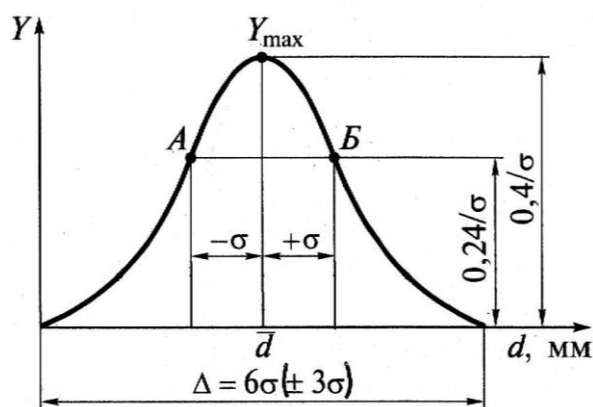


Рисунок 4.5 – Крива нормального розподілу (закон Гауса)

Середнє квадратичне відхилення визначають за формулою

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (d_i - \bar{d})^2 f_i}.$$

Крива розподілу розмірів симетрична відносно ординати

$$Y_{max} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \approx \frac{0,4}{\sigma},$$

що відповідає центру групування розмірів \bar{d} . На відстані $\pm \sigma$ (точки А і Б)

$$Y_A = Y_B = \frac{Y_{max}}{\sqrt{e}} \approx \frac{0,24}{\sigma}.$$

Фактичне поле розсіювання розмірів заготовок $\omega = 6\sigma$.

Галузь використання закону Гауса – механічна обробка заготовок за 8-м, 9-м та 10-м квалітетами та більше.

Закон рівної ймовірності. Закон рівної ймовірності (рисунок 4.6) використовується у випадку, коли розсіювання розмірів залежить тільки від змінних систематичних похибок, наприклад, систематичне збільшення діаметру вала в межах від d_{min} до d_{max} через зношення різального інструмента за час $\tau_1 - \tau_2$ (рисунок 4.6, а). Позначимо різницю $d_{max} - d_{min} = 2\omega$, де ω – поле розсіювання розмірів.

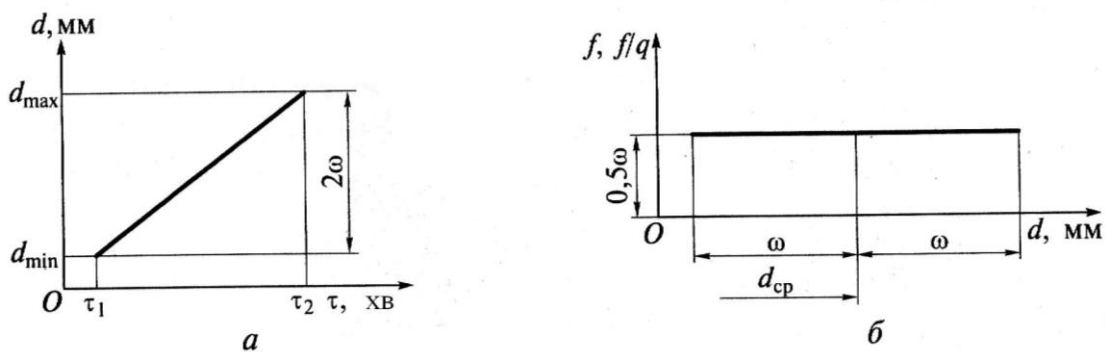


Рисунок 4.6 – Розподіл розмірів за законом рівної ймовірності

Розподіл розмірів деталей від d_{min} до d_{max} за законом рівної ймовірності виражається прямокутником (рисунок 4.6, б) з основою 2ω та ординатою $0,5\omega$.

Середнє арифметичне значення розміру

$$d_{cp} = \frac{d_{min} + d_{max}}{2}.$$

Середнє квадратичне відхилення

$$\sigma = \frac{d_{max} - d_{min}}{2\sqrt{3}} \approx 0,577\omega.$$

Фактичне поле розсіювання розмірів у партії деталей

$$\Delta = 2\sigma\sqrt{3} \approx 3,46\sigma.$$

Закон рівної ймовірності використовується при обробці заготовок за 5-м, 6-м квалітетами та вище за методом пробних ходів та промірів.

Закон ексцентриситету (закон Релея). Розподіл таких величин, як ексцентриситет, биття, різностінність, конусоподібність та інших, що характеризуються їх абсолютними значеннями (тобто без урахування знака), підпорядковується закону Релея (рисунок 4.7). Такий розподіл утворюється у випадках, коли випадкова величина є радіус-вектором R , що являє собою геометричну суму двох випадкових величин x та z , розподіл яких підпорядковується закону Гауса з параметрами $\bar{d}_x = \bar{d}_z = \bar{d}_R$; $\sigma_x = \sigma_z = \sigma$; $R = \sqrt{x^2 + z^2}$.

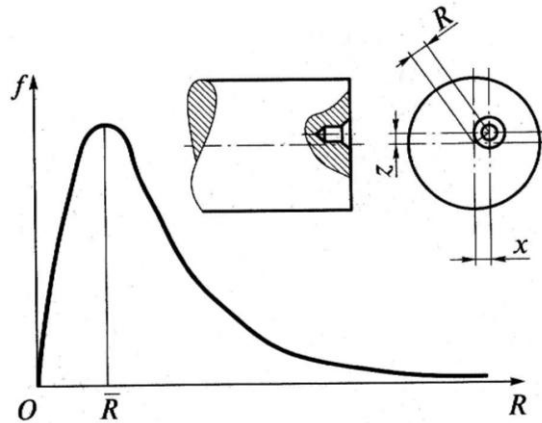


Рисунок 4.7 – Розподіл розмірів за законом ексцентриситету

Закон ексцентриситету – однопараметричний, і рівняння його кривої розподілу має вигляд:

$$y = \frac{R^2}{\sigma_o^2} e^{-R^2 / \sigma_o^2},$$

де σ_o – середнє квадратичне відхилення значень координат x та z .

Середнє арифметичне \bar{R} змінної випадкової величини (ексцентриситету, биття та ін.), її середнє квадратичне відхилення σ_R пов'язані із середньоквадратичним відхиленням σ координат x та z співвідношеннями

$$\sigma_R = 0,655 \sigma \quad \text{та} \quad \bar{R} = 1,92 \sigma_R.$$

Фактичне поле розсіювання Δ визначають з виразів

$$\Delta = 5,252 \sigma_R \quad \text{та} \quad \Delta = 3,44 \sigma.$$

Закон рівнобедреного трикутника (закон Симпсона). Якщо на розмір, що виконується, впливає закономірно змінювана похибка, що зростає спочатку уповільнено, а потім прискорено, то розподіл розмірів відбувається за законом трикутника (законом Симпсона, рисунок 4.8). Використовується

при обробці заготовок з точністю 7-го, 8-го квалітетів при наявності великих похибок, пов'язаних з недостатньою жорсткістю технологічної системи та прогресивним зношуванням інструмента, особливо в початковий період.

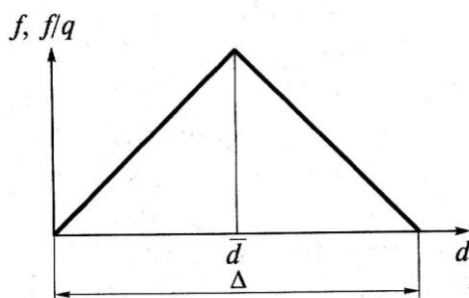


Рисунок 4.8 – Розподіл розмірів за законом Симпсона

Закон Симпсона відображується рівнобедреним трикутником з полем розсіювання

$$\Delta = 2\sqrt{6}\sigma \approx 4,9\sigma .$$

Функція розподілу $a(t)$. Формується законом Гауса з його параметрами σ і \bar{d} та законом рівної ймовірності з параметрами 2ω (на величину поля розсіювання впливає швидкість та тривалість процесу) (рисунок 4.9).

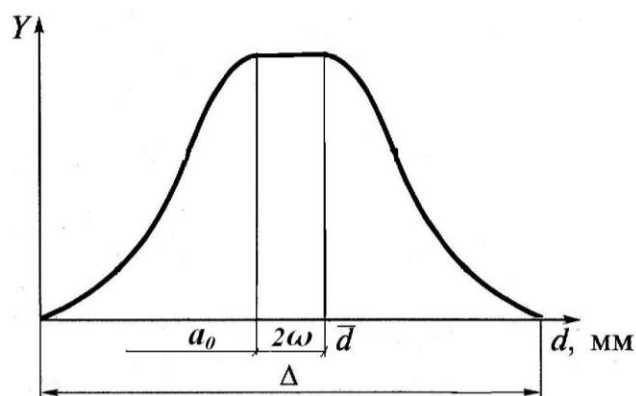


Рисунок 4.9 – Крива функції $a(t)$

Функція $a(t)$ для деякого моменту часу визначається залежністю

$$a(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a_0-C_1)^2}{2\sigma^2}} ,$$

де a_0 – середнє арифметичне значення розміру в початковий момент часу;

σ – середнє квадратичне відхилення гаусового розподілу, що формує функцію $a(t)$.

Форма кривої залежить від параметру $\lambda_a = 2\omega/\sigma$.
Лінійну функцію $a(t)$ можна представити у вигляді

$$a(t) = a_o + 2\lambda\sigma t.$$

Середнє арифметичне значення $\bar{d} = a_o + 2\omega = a_o + \lambda_a\sigma$.

Середнє квадратичне відхилення $\sigma_a = \sigma\sqrt{1 + \frac{1}{3}\lambda_a^2}$.

Поле розсіювання Δ розмірів при функції розподілу $a(t)$ залежить від параметру λ_a наступним чином:

λ_a	3	6	10	24
Δ	$4,74\sigma_a$	$4,14\sigma_a$	$3,76\sigma_a$	$3,56\sigma_a$

Аналіз точності методом математичної статистики достатньо точний, але недоліком є те, що результати вимірювань відображають вже існуючий, а не проєктований процес. Якщо процес характеризується визначеним значенням σ , але в ньому відбулися будь-які зміни, то необхідно визначати нове значення σ .

Точкові діаграми та їх використання для дослідження точності.
Дослідження точності механічної обробки за допомогою кривих розподілу не враховують послідовності обробки деталей: деталі партії як би перемішуються. Закономірно змінювані похибки не відділяються від випадкових (тільки змінюється форма кривої розподілу, див. рисунок 4.9). Від цього недоліку позбавлений статистичний метод точкових діаграм, сутність якого полягає в наступному: на контрольній карті на осі абсцис відкладають номери послідовно оброблюваних деталей або груп деталей, або інші величини, що характеризують процес, наприклад час, оброблювані розміри та ін., а на осі ординат – розміри цих деталей або групові середні розміри (рисунок 4.10) [6, 19].

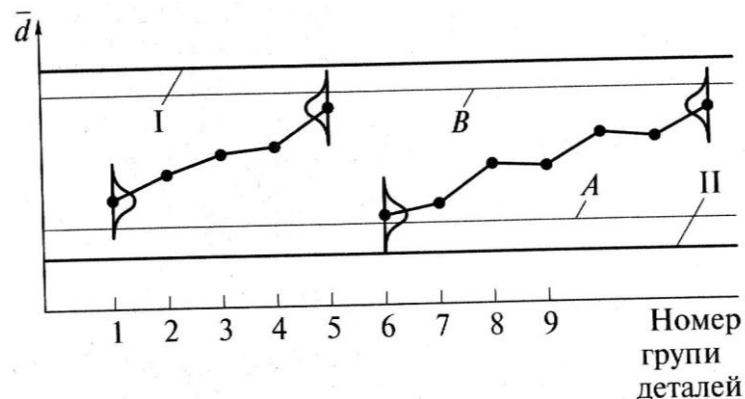


Рисунок 4.10 – Точкова діаграма

При використанні точкових діаграм треба через визначені проміжки часу наносити на діаграму дійсні значення розмірів деталі, або значення групових середніх розмірів \bar{d} , та слідкувати за тим, щоб точки не вийшли за контрольні прямі A й B , що визначають верхню та нижню границі довірчого інтервалу.

При виході окремих групових середніх значень за контрольні лінії процес зупиняють, визначають причину та після її усунення (виконують підналагодження верстата) продовжують обробку.

Метод точкових діаграм дозволяє більш повно виявляти вплив систематичних (постійних та змінних) похибок на хід технологічного процесу, а також зміну степені впливу в часі факторів, що викликають випадкові похибки.

Сумарна похибка механічної обробки заготовки

При обробці на попередньо налагодженому верстаті сумарну похибку або поле розсіювання розміру, що виконується на операції, можна визначити в загальному вигляді наступною функціональною залежністю [8, 16]:

$$\Delta = f(\Delta_y, \Delta_H, \varepsilon, \Delta_I, \Delta_T, \Delta_\Phi).$$

Похибка Δ_y пов'язана з пружними відтискуваннями технологічної системи під впливом сил різання. Поточне значення Δ_y при обробці кожної заготовки (з партії подібних заготовок) є випадковою величиною, розподіл якої підпорядковується нормальному закону.

Похибка настроювання верстата Δ_H для даного методу обробки регламентується визначеною величиною. Величину Δ_H вважають постійною в межах партії деталей, оброблених без підналагодження.

Похибка установки заготовки ε складається з похибок базування ε_b , закріплення ε_z та пристрою ε_{np} . Похибка установки ε є випадковою величиною, розподіл якої підпорядковується нормальному закону.

Похибки Δ_I , що пов'язані зі зношенням інструмента, належать до систематичних закономірно змінюваних похибок. При обробці невеликих та середніх деталей розподіл їх розмірів відповідає закону рівної ймовірності.

Похибки Δ_T , що пов'язані з тепловими деформаціями, найбільш повно виявляють себе при розігріванні технологічної системи. Розсіювання розмірів деталей в партії деталей орієнтовно підпорядковується закону рівної ймовірності, тобто є систематично змінюваною похибкою. При настанні теплової рівності похибку Δ_T розглядають як систематичну постійну похибку.

Похибка Δ_Φ є сумою похибок форми заготовки, що викликаються геометричною неточністю верстата, деформаціями заготовки при закріпленні та ін.

Перші п'ять похибок вважають випадковими величинами, тому похибка механічної обробки визначається залежністю

$$\Delta = k_p \sqrt{\chi_1 \Delta_y^2 + \chi_2 \Delta_H^2 + \chi_3 \varepsilon^2 + \chi_4 \Delta_I^2 + \chi_5 \Delta_T^2},$$

де k_p – коефіцієнт, що характеризує вірогідність ризику отримання браку при обробці; при $k_p = 1$ ймовірність браку становить 32 %, при $k_p = 2$ вона зменшується до 4,5 %, при $k_p = 3$ – до 0,27 %;

$\chi_1 \dots \chi_5$ – коефіцієнти, що характеризують закони розподілу кожної з первинних похибок. Для кривих розподілу за законом Гауса (нормальний розподіл) $\chi = 1/9$, за законом рівної ймовірності та у випадку, коли про форму кривої розподілу нічого не відомо, $\chi = 1/3$, за законом Симпсона $\chi = 1/6$.

Розподіл величин Δ_y , Δ_H , ε близький до нормального, тому $\chi_1 = \chi_2 = \chi_3 = 1/9$. Розподіл Δ_I відповідає закону рівної ймовірності, а розподіл Δ_T недостатньо вивчений, тому приймаємо $\chi_4 = \chi_5 = 1/3$. Приймавши $k_p = 3$ ($P_p = 0,27$ %), отримаємо розрахункову залежність (з урахуванням похибки форми Δ_Φ)

$$\Delta = \sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_H^2 + \varepsilon^2 + 3\Delta_I^2 + 3\Delta_T^2} + \Delta_\Phi.$$

При визначенні сумарної похибки обробки діаметральних розмірів похибку установки заготовки ε виключають. При обробці невеликих партій заготовок без підналагодження верстата $\Delta_H \rightarrow 0$. При обробці малих партій заготовок практично не виявляється Δ_I . Такий же ефект виявляється при малих коливаннях припусків або твердості заготовок, для яких визначається величина Δ_y .

При використанні методу пробних ходів та проходів сумарну похибку при обробці визначають залежністю

$$\Delta = \Delta_y + \varepsilon_{IHC} + \varepsilon_3 + \Delta_{3H} + \Delta_T + \Delta_B,$$

де Δ_y – похибка форми оброблюваної поверхні, що отримують як результат копіювання елементарних похибок заготовки, в умовах пружної технологічної системи;

ε_{IHC} – похибка установлення різального інструмента на розмір;

ε_3 – похибка закріплення заготовки або похибка її положення відносно виміральної бази в результаті деформації технологічної системи від сил затискування;

Δ_{3H} – похибка форми поверхні через розмірне зношення різального інструмента;

Δ_T – похибки форми, що викликаються тепловими деформаціями технологічної системи в процесі обробки однієї деталі;

Δ_B – похибка форми оброблюваної поверхні, що виникає через геометричні неточності верстата.

Практичне застосування законів розподілу розмірів для аналізу точності обробки

Установлення надійності обробки заготовок без браку. Надійність забезпечення потрібної точності обробки характеризується запасом точності ψ даної операції [9]

$$\psi = \frac{T}{\Delta},$$

де T – допуск на обробку;

Δ – фактичне поле розсіювання розмірів заготовок.

Якщо $\psi > 1,0$, то обробка заготовок виконується без браку, а якщо $\psi < 1,0$ – брак є ймовірним. Якщо $\psi \geq 1,2$, то процес обробки вважається надійним.

Умова обробки без браку $\omega < T$ (для усіх законів розподілу), $6\sigma < T$ (для нормального закону). При наявності систематичної похибки $6\sigma + \Delta_{сист} < T$, де $\Delta_{сист} = \Delta_n$ – похибка настройки верстата

Розрахунок кількості ймовірного браку заготовок (для нормального закону). Якщо $\Delta > T$, то умова обробки без браку не виконується (рис. 4.11).

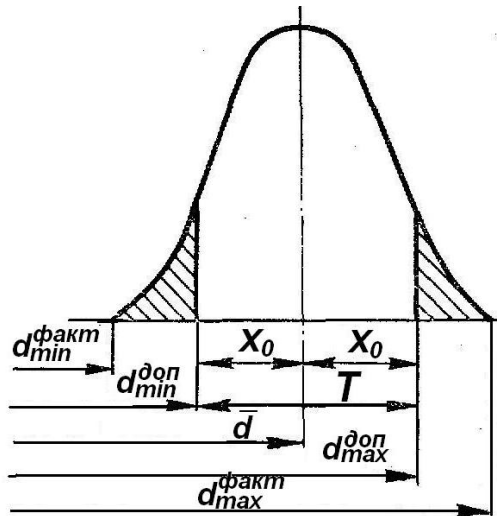


Рисунок 4.11 – Кількість ймовірного браку при симетричному розташуванні поля розсіювання відносно поля допуску

Допуск

$$T = d_{\max}^{\text{дон}} - d_{\min}^{\text{дон}}.$$

Треба знайти площу, обмежену кривою та віссю абсцис на довжині T , для визначення кількості годних заготовок. Для цього використовують функцію Лапласа, що визначається за формулою

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-t^2/2} dt.$$

Значення функції $\Phi(t)$ залежить від t – нормованого параметру розподілу або коефіцієнту ризику [9]:

$$t = (d - \bar{d}) / \sigma = x_o / \sigma.$$

Зі збільшенням t збільшується кількість заготовок, розміри яких знаходяться в межах поля допуску T , та зменшується процент очікуваного браку при обробці.

Кількість бракованих деталей (при симетричному розташуванні поля розсіювання відносно поля допуску):

$$Q_{\text{бр}} = \left[-2\Phi(t) \right] \cdot 100\%.$$

При несиметричному розташуванні поля допуску (рисунок 4.12):

$$x_A = T/2 + \Delta_H \quad t_A = x_A / \sigma,$$

$$x_B = T/2 - \Delta_H \quad t_B = x_B / \sigma.$$

$\Phi(t_A) + \Phi(t_B) = \Phi(t)$ – процент годних деталей;

$Q_{\text{бр}} = \left[-\Phi(t) \right] \cdot 100\%$ – процент браку.

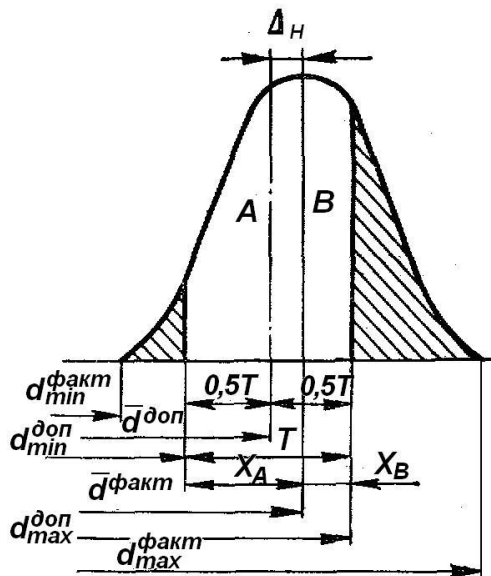


Рисунок 4.12 – Кількість ймовірного браку при несиметричному розташуванні поля розсіювання відносно поля допуску

Визначення кількості заготовок, що потребують додаткової обробки. Кількість заготовок, що потребують додаткової обробки (заштрихована площа) (рисунок 4.13):

$$x_A = x_B = T - 3\sigma - \Delta_H.$$

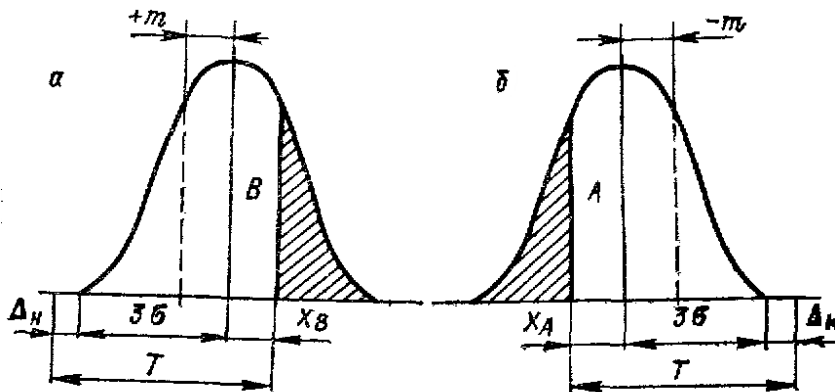


Рисунок 4.13 – Налаштування верстата для обробки валів (а) та отворів (б) з поправним браком

Далі знаходять t_A або t_B та за таблицями $\Phi(t_A)$ або $\Phi(t_B)$. Кількість заготовок $Q_{дор}$, що потребують додаткової обробки:

$$Q_{дор} = [0,5 - \Phi(t)] \cdot 100\%.$$

4.4 Вплив технологічної системи на точність та продуктивність обробки

Технологічна система «верстат-пристрій-інструмент-заготовка» є пружною системою, деформації якої в процесі обробки обумовлюють виникнення систематичних та випадкових похибок розмірів і геометричної форми оброблюваних заготовок. Технологічна система є замкненою динамічною системою, спроможною до збудження та підтримання вібрацій, що викликають похибки форми оброблюваних заготовок (некруглість) та збільшують їх шорсткість [9].

Вплив жорсткості та податливості технологічної системи на формування похибок обробки. При обробці в центрах вала на токарному верстаті, налагодженому на розмір, під дією складової сили різання P_y заготовка відтискується у задньої бабки на величину $y_{з.б}$ (рисунок 4.14). При переміщенні різця вліво величина відтискування $y_{з.б}$ зменшується, але одночасно збільшується відтискування заготовки у передньої бабки $y_{п.б}$ та власний прогин заготовки $y_{заг}$, який має максимальне значення $y_{заг\ max}$ при положенні різця посередині. Інструмент разом із різцетримачем та супортом відтискується в протилежну сторону на величину $y_{інс}$.

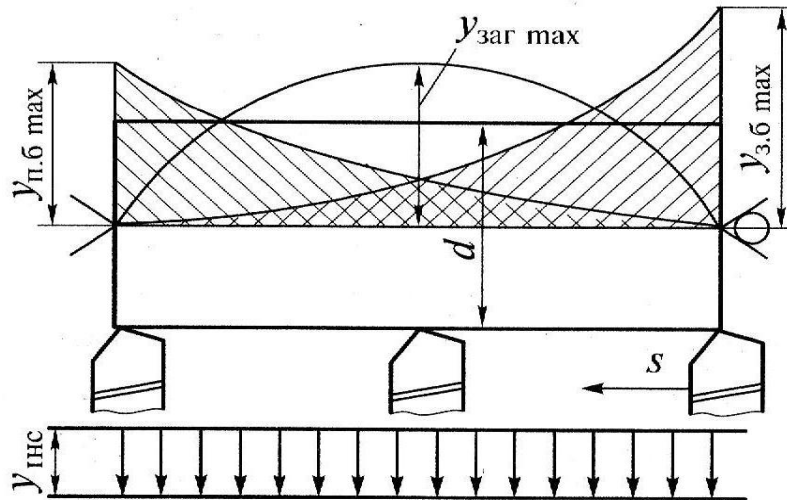


Рисунок 4.14 – Пружні відтискування технологічної системи

Взаємні відтискування заготовки та інструмента викликають збільшення дійсного діаметру d_d деталі в i -му перерізі порівняно з настроювальним діаметром d_H на величину, що дорівнює подвійній сумі значень усіх відтискувань:

$$d_d = d_H + 2(y_{п.б} + y_{з.б} + y_{інс} + y_{заг}).$$

Пружні відтискування у визначаються діючими в напрямку цих відтискувань зусиллями та жорсткістю технологічної системи.

Жорсткістю j технологічної системи називається спроможність системи чинити опір дії деформуючих її сил. Величина жорсткості визначається за формулою

$$j = \frac{P_y}{y},$$

де P_y – нормальна складова сили різання, Н;

y – сумарне зміщення леза різального інструмента відносно оброблюваної поверхні заготовки, мм.

$$y = y_{верст} + y_{пр} + y_{заг} + y_{ін}.$$

Податливістю ω технологічної системи називається спроможність системи пружно деформуватися під дією зовнішніх сил. Величина податливості визначається за формулою

$$\omega = \frac{y}{P_y} = \frac{1}{j}.$$

Сумарна податливість системи ω :

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n.$$

Сумарна жорсткість системи j :

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{j_1} + \frac{1}{j_2} + \dots + \frac{1}{j_n}.$$

При обробці в центрах при положенні різця в середині оброблюваної заготовки

$$\frac{1}{j_{верст}} = \frac{1}{j_{суп}} + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{j_{н.б.}} + \frac{1}{j_{з.б.}} \right).$$

При положенні різця на відстані x від передньої бабки

$$\frac{1}{j_{верст}} = \frac{1}{j_{суп}} + \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2 \frac{1}{j_{н.б.}} + \left(\frac{x}{l}\right)^2 \frac{1}{j_{з.б.}}.$$

Значення $y_{інс}$ незначне, тому до уваги не приймається.

Відтискування $y_{заг}$ залежить від методу установки заготовок на токарному верстаті.

При обточуванні вала в центрах найбільший прогин вала

$$y_{заг} = \frac{P_y l^3}{48EJ}.$$

Прогин вала в перерізі прикладення різця на відстані x від передньої бабки

$$y_{заг} = \frac{P_y x^2 (l-x)^2}{3EJ},$$

де l – довжина деталі;

E – модуль пружності;

J – момент інерції перерізу заготовки ($J = 0,05D^4$ – для круглого вала).

При положенні різця в середині вала жорсткість дорівнює

$$j_{заг} = \frac{48EJ}{l^3},$$

при положенні різця на відстані x від передньої бабки верстата –

$$j_{заг} = \frac{3EJ}{x^2(l-x)^2}.$$

Для гладкого вала, що консольно закріплений в патроні:

$$y_{заг} = \frac{P_y l^3}{3EJ}, \quad j_{заг} = \frac{3EJ}{l^3}.$$

Для гладкого вала, що закріплений в патроні та підтримується центром:

$$y_{заг} = \frac{P_y l^3}{100EJ}, \quad j_{заг} = \frac{100EJ}{l^3}.$$

Обробка маложорстких деталей супроводжується появою систематичних похибок форми виробів (через зміну жорсткості, а отже й величини відтискування по довжині заготовки).

Затуплення різального інструмента призводить до збільшення нормальної складової P_y сили різання, що викликає (разом із розмірним зношенням інструмента) поступове збільшення розміру оброблюваного виробу.

Збільшення головного кута в плані φ та зменшення радіусу r заокруглення вершини різця сприяє зменшенню нормальної складової P_y у зв'язку із затупленням різця. Це все є причиною виникнення змінних систематичних похибок обробки.

Коливання твердості оброблюваного матеріалу значно змінюють нормальну складову P_y , при обробці сталі P_y знаходиться в квадратичній залежності від твердості за Бринелем.

Для зменшення коливань сили різання, що викликане різною твердістю заготовок, необхідно чистові робочі ходи інструментів виконувати зі зняттям мінімального перерізу стружки.

Коливання припуску на обробку заготовок, що викликане погрішністю розмірів вихідної заготовки, при роботі на налагоджених верстатах змінюють глибину різання t (відповідно змінюється P_y відтискування), що призводить до розсіювання розмірів деталі.

Похибки геометричної форми вихідної заготовки обумовлюють появу однойменних похибок форми оброблюваних заготовок (похибки вихідної заготовки копіюються на оброблюваній заготовці у вигляді похибок меншої величини).

Уточненням ε називається відношення однойменних похибок вихідної та оброблюваної заготовки

$$\varepsilon = \frac{\Delta_{вих.заг}}{\Delta_{обр.заг}}.$$

$$k_y = \frac{\Delta_{обр.заг}}{\Delta_{вих.заг}}.$$

Продуктивність технологічної системи знаходиться в безпосередньому зв'язку із жорсткістю технологічної системи. Збільшивши жорсткість системи, можна зменшити пружні відтискування технологічної системи та підвищити точність обробки.

Методи підвищення жорсткості технологічної системи:

- 1) створення жорсткої конструкції та зміна розмірів елементів технологічної системи;
- 2) скорочення загальної кількості ланок технологічної системи;
- 3) підвищення якості механічної обробки деталей (особливо поверхонь стиків);
- 4) підвищення якості складання;
- 5) правильний режим експлуатації верстатів;
- 6) систематичний нагляд за обладнанням у процесі його експлуатації з періодичною перевіркою жорсткості усіх елементів технологічної системи.

Методи визначення жорсткості верстатів. Для визначення жорсткості верстатів у машинобудуванні найчастіше використовують два методи – статичне та динамічне навантаження [9, 15].

При *статичному навантаженні* жорсткість верстата або окремого вузла визначають при їх навантаженні статичними силами за допомогою спеціальних динамометрів; при цьому індикаторними приладами вимірюють відтискування вузлів верстата. Навантаження виконується силами, подібними за своїм напрямком до сил, діючих на даний вузол при експлуатації верстата, але в розрахунок жорсткості вводяться тільки сили, нормальні до оброблюваної поверхні.

При випробуванні виконуються декілька навантажень, що зростають від нуля до максимуму, та за ними будується залежність $y = f(P_y)$. Потім виконують розвантаження та будують відповідну розвантажувальну криву.

При *динамічному навантаженні (виробничому методі)* на верстаті обробляють заготовки, які мають ступінчасту форму (уступи – $\Delta_{вих.заг}$), що установлені на спеціальній оправці. Після обробки за один хід на оброблюваній поверхні виникає уступ, що копіює в зменшеному вигляді похибку вихідної заготовки ($\Delta_{обр.заг}$).

Жорсткість визначають за формулою

$$j = \lambda C_p s^{0,75} \frac{\Delta_{вих.заг}}{\Delta_{обр.заг}},$$

де $\lambda = \frac{P_y}{P_z}$ – співвідношення складових сили різання P_y і P_z ;

C_p – поправний коефіцієнт;

s – подача різального інструмента, мм/об.

Жорсткість верстатів, що установлена в статичних умовах, в 1,2–1,5 рази більше жорсткості, визначеної виробничим методом.

Вплив динаміки технологічної системи на похибку форми та хвилястість обробленої поверхні. Коливання зменшують стійкість різального інструмента (іноді викликають його поломку), точність, збільшують шорсткість обробленої поверхні, викликають інтенсивне зношування верстатів. Шуми при вібраціях стомлюють робітника.

Коливання, що виникають при обробці, можуть бути вимушеними, власними (або вільними) та автоколиваннями.

Вимушені коливання – це коливання, що викликані та підтримуються деякими збурювальними силами, тобто силами, заданими у вигляді явних функцій часу.

До них належать:

- коливання, що передаються ззовні через фундамент від працюючих поблизу верстатів, машин;
- коливання, що викликаються дисбалансом частин верстата, що обертаються, заготовки й т. ін.;
- коливання, що викликаються переривчастим характером різання (робота зубів фрези, протяжки й т. ін.).

Частота вимушених коливань дорівнює або кратна частоті збурювальної сили. Усунення збурювальної сили призводить до усунення вимушених коливань.

Власні коливання – це коливання автономних систем, що відбуваються під дією поновлювальних сил навколо стану рівноваги. Вони виникають під дією яких-небудь поштовхів та швидко затухають. Частота власних коливань визначається масою та жорсткістю системи, що коливається. При різанні на верстатах сили опору великі, тому затухання власних коливань відбувається швидко.

Рівняння власних коливань при наявності лінійної оновлюючої сили тертя має вигляд:

$$ay + by + cy = 0.$$

Загальне розв'язання такого рівняння:

$$y = Ae^{-ht} \sin(kt + \alpha).$$

Автоколивання – це незатухаючі стаціонарні коливання, що підтримуються за рахунок енергії, яка підводиться до системи від деяких джерел неколивного характеру.

Автоколивний процес – це процес, при якому перемінна сила, що підтримує коливний рух, створюється та керується самим рухом і при припиненні цього руху зникає.

Джерелом енергії автоколивного руху є привод верстата. Високочастотні коливання виникають найчастіше при чистовій та напівчистовій обробці при великих швидкостях головного руху різання через коливання різця. На поверхні деталі залишаються жмури з малим кроком (0,5...2 мм).

При низькочастотних коливаннях на деталі залишаються хвилі з великим кроком, велика шорсткість поверхні.

Основні гіпотези виникнення автоколивань. Соколовський А. П. вивчав виникнення вібрацій при вільному різанні. У процесі дослідження на осцилографі записувались значення сили P_y та переміщення різця в напрямку y (рисунок 4.15) [9, 20].

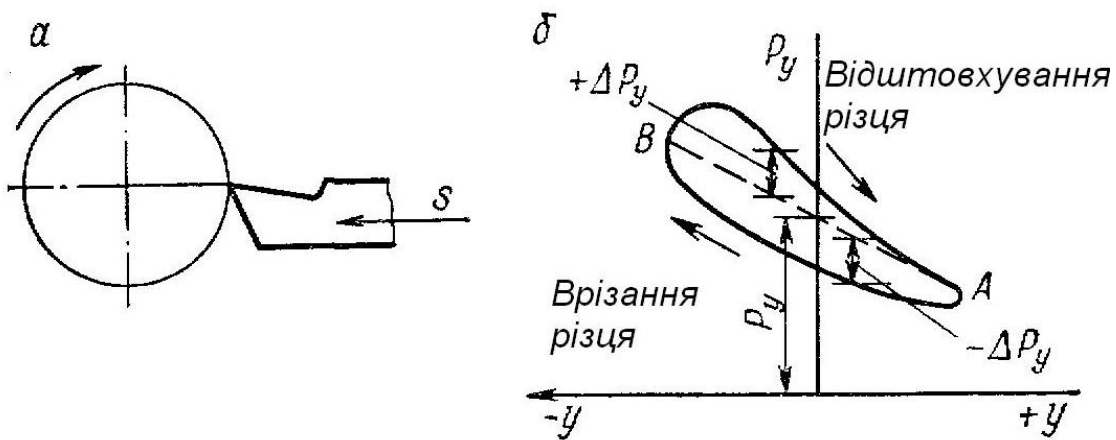


Рисунок 4.15 – Зміна радіальної складової сили різання при наявності коливань динамічної системи (б) при точінні вузького буртику широким різцем (а)

При врізанні сила P_y менша, ніж при відштовхуванні різця, тобто це і є причиною появи автоколивань. При відштовхуванні різець зрізує деформований шар металу через те, що відбувається запізнення пластичної деформації матеріалу відносно швидкості переміщення вершини різця.

Фактори, що знижують P_y при відштовхуванні та збільшують при врізанні, сприяють зменшенню рівня автоколивань.

Амосов І. С. вважав, що причиною автоколивань є точіння «по сліду». При кожному наступному оберті різець зрізує хвилі, що залишилися від вібрацій на попередньому оберті.

Коливання на наступному оберті відстають від хвиль на поверхні різання на $\pi/2$, тобто від коливань, що були на попередньому оберті. Через це виникає неоднаковість товщини стружки при «врізанні» та «відштовхуванні».

Штейнберг І. С. вважав, що виникнення коливань пов'язано з утворенням та зривом наросту на різці.

Можливі три випадки виникнення вібрацій:

1 Частота зривів співпадає з частотою власних коливань виробу та виникає резонанс.

2 Частота зривів наближається до частоти власних коливань виробу, та амплітуда коливань починає зростати.

3 Частота зривів значно менше частоти власних коливань виробу. При цьому умовою виникнення коливань є, з одного боку, мала жорсткість виробу, а з іншого – відносно великі розміри наросту, що зривається. Крім того, утворення наросту сприяє зміні геометрії різця ($\gamma_{\phi} > \gamma_p$, $\delta_{\phi} < \delta_p$), а отже, і зміні сили за цикл коливань.

Кудінов В. А. і Тлустий І., аналізуючи траєкторії замкненого контуру коливних рухів, що близька до еліпсу, висунули гіпотезу, що ґрунтується на принципі координатного зв'язку.

Сутність: якщо тіло здійснює коливання в площині за двома напрямками і ці коливання пов'язані одне з одним, то при коливаннях в деяких випадках може бути позитивна робота за цикл, хоч рухи в кожному з цих напрямків окремо відбувались би з поглинанням роботи. Найбільшу стійкість має система, де напрям найбільшої жорсткості розташовується між нормаллю до обробленої поверхні та напрямком рівнодіючої сили різання.

Основні методи боротьби з коливаннями [20]:

1 Підвищення жорсткості технологічної системи, а також її вузлів. Зі збільшенням жорсткості зростає частота власних коливань, а отже, зменшується амплітуда коливань.

2 Зменшення коливних мас, якщо це не призводить до зменшення жорсткості елементів технологічної системи.

3 Збільшення сил опору коливному руху, за рахунок чого збільшується розсіювання енергії при коливаннях.

4 Зменшення сил, що збуджують вібрації (зовнішніх – при вимушених коливаннях, внутрішніх – при автоколиваннях).

5 При можливості виключення переривчастого різання або використання косозубих фрез, зменшення кроку зубів фрез.

6 Балансування частин технологічної системи, що швидко обертаються (шліфувальних кругів, шпинделів та ін.). При точінні несиметричних заготовок установка противаг.

7 Усунення дефектів в передачах та кінематичних ланцюгах верстата.

8 Ізоляція технологічної системи від зовнішніх джерел коливань (використання віброопор, ізольованих фундаментів і т. п.).

9 Вибір режимів різання, що не сприяють виникненню коливань.

10 Застосування раціональних МОТС (за рахунок чого зменшується тертя в зоні різання, а отже, і сила різання).

11 Усунення зазорів у рухомих з'єднаннях та забезпечення щільності стиків у нерухомих з'єднаннях.

12 Використання раціональної геометрії різального інструмента: збільшення кутів у плані та передніх кутів, використання віброгасних фасок, пружинних різців, різців з низько розташованою різальною кромкою.

4.5 Забезпечення точності механічної обробки

Завдання керування точністю обробки та зменшення її похибки вирішується за декількома напрямками [9]:

- 1) розрахунки точності та виконання початкового налагодження верстатів;
- 2) розрахунки режимів різання з урахуванням фактичної жорсткості технологічної системи;
- 3) точне керування процесом обробки (ручне та автоматичне) та своєчасне точне підналагодження верстатів.

Налагодженням (настройкою) називається процес підготовки технологічного обладнання та технологічної оснастки до виконання визначеної технологічної операції.

В умовах одиничного та дрібносерійного виробництва завдання настройки:

- установлення пристрою та різальних інструментів у положення, що забезпечують найкращі умови різання, хороші умови стружкоутворення, високу продуктивність обробки, стійкість різального інструмента та потрібну якість оброблюваної поверхні;

- установлення режимів роботи верстата.

В умовах великосерійного та масового виробництва додається третя задача:

- забезпечення точності взаємного розташування різальних інструментів, пристрою, кулачків, упорів, копирів та інших пристроїв.

Використовують наступні методи налагодження верстатів:

- статичне налагодження;

- налагодження за пробними заготовками за допомогою робочого калібру;

- налагодження за допомогою універсального вимірювального інструмента за пробними заготовками.

Статичне налагодження полягає в установленні різальних інструментів за різними калібрами та еталонами на нерухомому верстаті. Установлюється еталон-деталь або калібр на верстаті замість заготовки та виконується установка інструмента й упорів. При статичній настройці верстата у зв'язку з деформаціями в пружній технологічній системі, що залежать від сил різання, температурного режиму системи та інших факторів, розмір оброблюваної деталі буде більше (для зовнішньої поверхні) або менше (для внутрішньої поверхні) потрібного на величину Δ_{nonp} .

Настроювальний розмір установочного калібру:

$$d_n^{розрах} = d_n^{заг} \mp \Delta_{nonp}, \quad (\text{— для обробки вала, + для обробки отвору})$$

де $d_n^{заг} = (d_{min} + d_{max}) / 2$ – розмір заготовки;

Δ_{nonp} – поправка, що враховує деформацію в пружній технологічній системі та шорсткість поверхні еталонної деталі, за якою виконується налагодження:

$$\Delta_{nonp} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3,$$

де Δ_1 – поправка, що враховує силу різання ($\Delta_1 = \frac{P_y}{j}$ – при односторонній обробці, $\Delta_1 = \frac{2P_y}{j}$ – при двосторонній обробці);

Δ_2 – поправка, що враховує шорсткість заготовки ($\Delta_2 = Rz$ – при односторонній обробці, $\Delta_2 = 2Rz$ – при двосторонній обробці);

Δ_3 – поправка на величину зазору в підшипниках шпинделя ($\Delta_3 = 0,04\text{ мм}$ – токарний верстат нормальної точності, $\Delta_3 = 0,02\text{ мм}$ – токарний верстат підвищеної точності). При двосторонній обробці Δ_3 подвоюється.

Похибка визначення Δ_{nonp} складає 50 % її значення. Доповнюється динамічною настройкою верстата та додатковим регулюванням упорів та інструмента при обробці перших заготовок партії.

Метод використовується при багатоінструментальній обробці, при настройці оброблювальних центрів (поза верстатом на спеціальних оптичних установках). Забезпечує 8–9-й квалітети точності.

Налагодження за пробними заготовками за допомогою робочого калібру. Сутність методу – після налагодження за робочим калібром виготовляється одна або декілька деталей. Якщо розміри знаходяться в межах допусків, передбачених робочим калібром, то налагодження вважається правильним та обробляється вся партія заготовок.

Такий метод налагодження не є задовільним, тому що навіть в найбільш прийнятному випадку, коли допуск на обробку значно перевищує поле розсіювання, немає гарантії того, що значна частина заготовок партії не опиниться за межами встановленого допуску. Крива розсіювання, до якої належить розмір пробної заготовки, може займати всередині поля допуску T різні положення, та при виготовленні однієї пробної заготовки не можна визначити, якій ділянці поля розсіювання вона відповідає. Точки A та B можуть належати як кривим 1 і 2 , так і кривим $1a$ і $2a$, що не виключає появу браку (рисунок 4.16).

Необхідно збільшити кількість пробних заготовок для виключення можливості появи браку (але така можливість повністю не виключається).

E_m (E_m – математичне очікування (центр групування розмірів)) повинен знаходитися на відстані не менше 3σ від граничних розмірів.

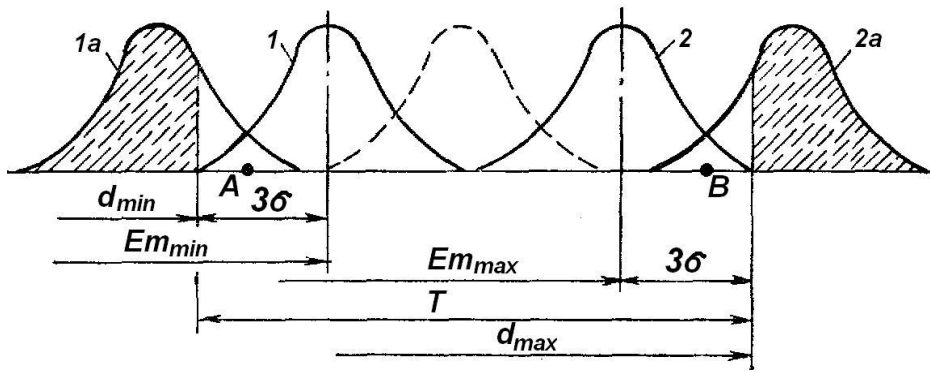
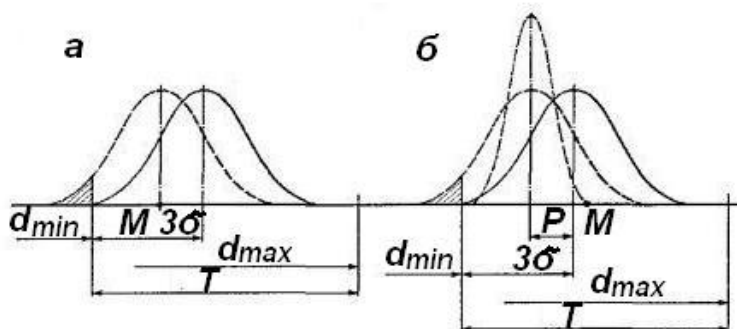


Рисунок 4.16 – Можливі положення кривих розподілу розмірів відносно поля допуску при $6\sigma \leq T$

Налагодження за пробними заготовками за допомогою універсального вимірювального інструмента. При використанні універсальних вимірювальних засобів налагодження обладнання полягає в тому, що установка різальних інструментів та упорів верстата виконується на визначений робочий настроювальний розмір d_n , а правильність настройки установлюється обробкою деякої кількості m пробних заготовок. Налагодження визнається правильним, якщо середнє арифметичне розмірів пробних заготовок опиняється в межах деякого допуску T_n на налагодження. Завданням налагодження в цьому випадку є визначення поля допуску T_n для деякої сукупності заготовок, розподіл розмірів яких підпорядковується нормальному закону.

Якщо центр групування розмірів пробних заготовок розташовується відносно до граничних розмірів партії заготовок ближче, ніж на відстані 3σ (точка M на рисунку 4.17, а), то частина загальної кривої розсіювання розмірів обробленої партії заготовок може вийти за межі допуску та виникне ймовірність появи браку.



а – центр групування ближче, ніж 3σ ;

б – центр групування далі, ніж 3σ (на величину P)

Рисунок 4.17 – Випадки можливого браку при $6\sigma < T$

Навіть якщо ця відстань менше 3σ (точка M на рисунку 4.17, б), то брак оброблених заготовок можливий, тому що точка M може належати

кривій групових середніх, центр групування яких зміщений на величину P (див. рисунок 4.17, б) від потрібного положення кривої, що виключає можливість браку.

Брак можливий тільки в тому випадку (рисунок 4.18), коли мінімальний розмір групових середніх пробних заготовок, що визначає положення точки M ,

$$d_{min}^{zp.cer} \geq d_{min} + 3\sigma + 3\sigma / \sqrt{m},$$

а максимальний розмір

$$d_{max}^{zp.cer} \leq d_{max} - 3\sigma - 3\sigma / \sqrt{m}.$$

Допуск налагодження визначається за формулами:

$$T_H = d_{max}^{zp.cer} - d_{min}^{zp.cer} \quad \text{або} \quad T_H = T - 6\sigma(1 + 1/\sqrt{m}),$$

де m – кількість пробних заготовок; $2 \leq m \leq 8$ [9].

Збільшуючи кількість m пробних заготовок, можна розширити допуск налагодження T_H , тому використовують формулу

$$m > \left[\frac{6\sigma}{T - 6\sigma} \right]^2.$$

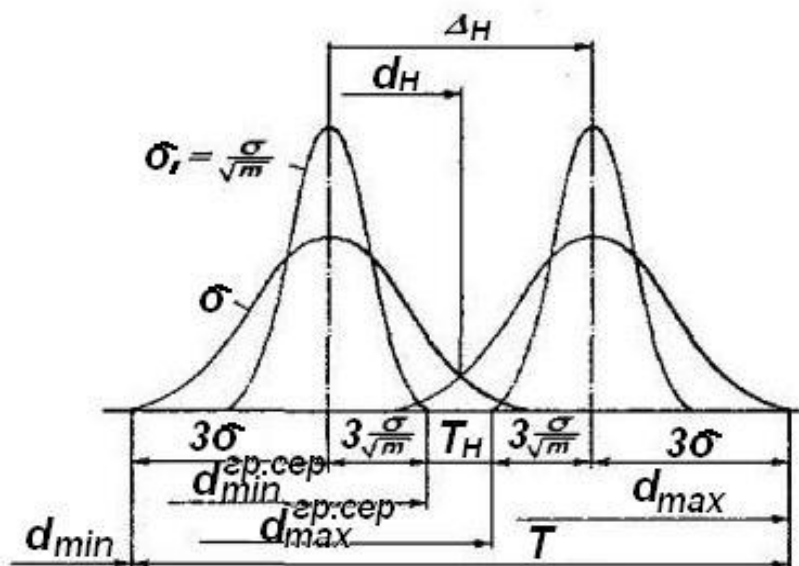


Рисунок 4.18 – Налаштування верстата, що виключає можливість браку

Умова обробки без браку при відсутності впливу систематичних похибок

$$6\sigma(1 + 1/\sqrt{m}) + T_n < T .$$

З урахуванням систематичних похибок,

$$6\sigma(1 + 1/\sqrt{m}) + T_n + \Delta_{сист} < T .$$

Похибка настройки

$$\Delta_n = \omega_n = 1,2\sqrt{\omega_{рег}^2 + \omega_{вимір}^2 + \omega_{зміц}^2} .$$

Допуск налагодження, що визначається за формулою $T_n = 1,2\sqrt{\omega_{рег}^2 + \omega_{вимір}^2}$, менше загальної похибки на величину $\omega_{зміц} = 6\sigma/\sqrt{m}$, що є полем ймовірного зміщення положення вершини кривої розсіювання розмірів групових середніх пробних заготовок.

Настроювальний розмір

$$d_n = \frac{d_{\min} + d_{\max}}{2} \pm 0,5T_n .$$

Завдання налагодження – суміщення вершини кривої фактичного розподілу розмірів з серединою поля допуску, тобто $E_m = E_c$.

Метод застосовується при обробці партії заготовок при незначному зношенні інструмента.

Обробка великих партій заготовок ставить завдання найбільш раціонального розташування кривої розсіювання в полі допуску з метою використання значної частини цього поля для компенсації змінних систематичних похибок обробки (наприклад, зношення інструмента). Частина T_n загального поля допуску T (рисунок 4.19) використовується для компенсації похибок налагодження ($T_n = \omega_n$). Друга частина загального поля допуску призначена для компенсації випадкових похибок $6\sigma(1 + 1/\sqrt{m})$. Решта загального поля допуску b використовується для компенсації змінних систематичних похибок (наприклад, зношення інструмента). Після обробки n_1 заготовок виконують підналагодження для запобігання браку.

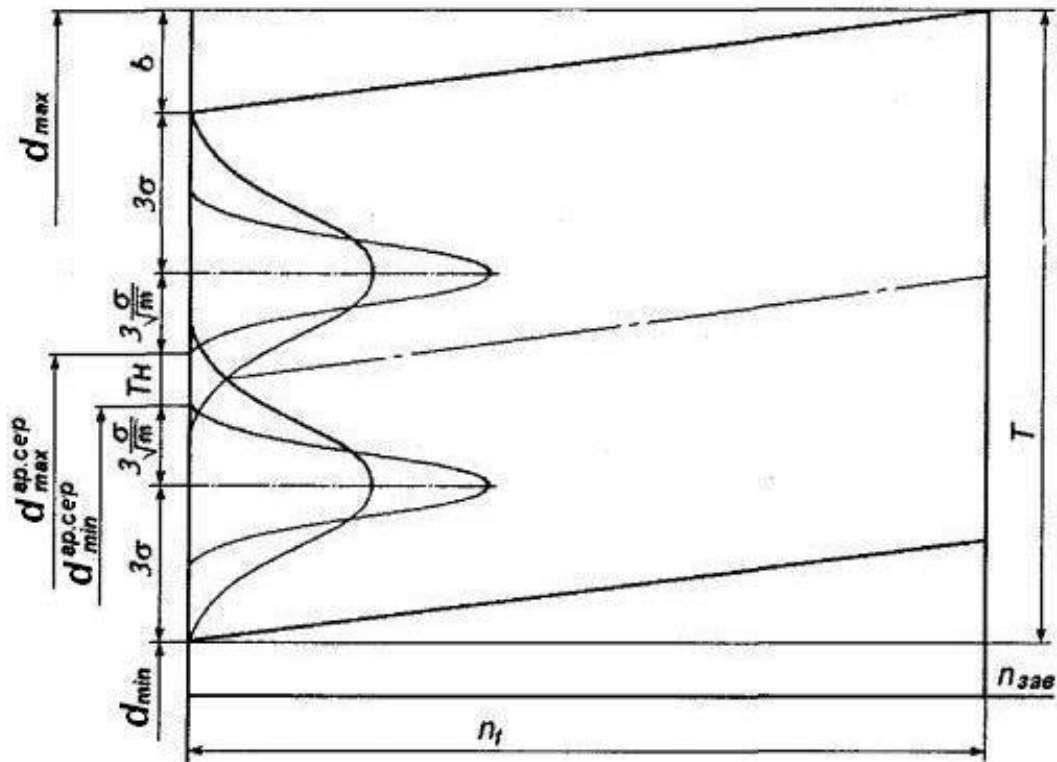


Рисунок 4.19 – Налаштування верстата з урахуванням змінних систематичних похибок

Порядок розрахунку настройки верстата з урахуванням змінних систематичних похибок:

1 Визначається $d_{min}^{ep.cer} = d_{min} + 3\sigma(1 + 1/\sqrt{m})$.

2 Визначається $T_H = T - 6\sigma(1 + 1/\sqrt{m}) - b$.

3 Визначається $d_{max}^{ep.cer} = d_{min}^{ep.cer} + T_H$.

Якщо відоме значення b , то

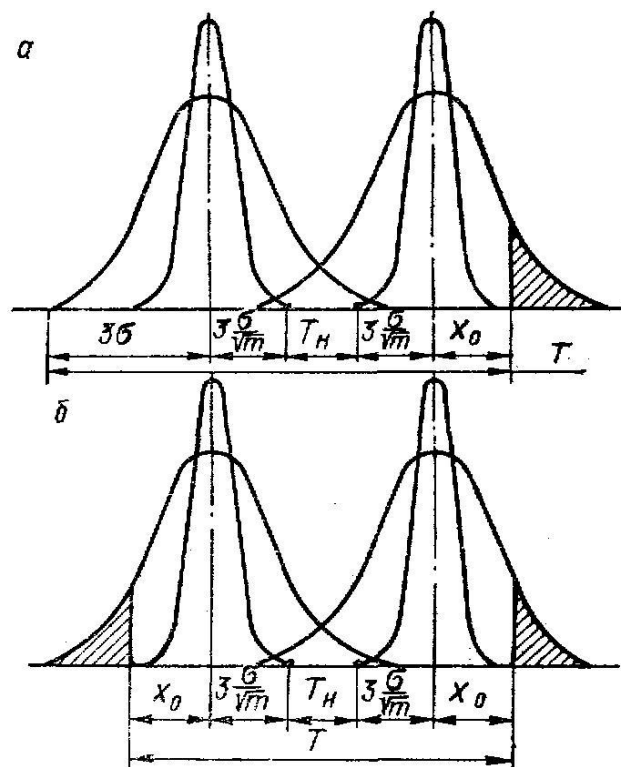
$$d_{max}^{ep.cer} = d_{max} - b - 3\sigma(1 + 1/\sqrt{m}).$$

4 Визначається частина допуску b , що використовується для компенсації зношення інструмента,

$$b = T - 6\sigma(1 + 1/\sqrt{m}) - T_H.$$

Якщо сума випадкових та систематичних похибок більше поля допуску, тобто $6\sigma(1 + 1/\sqrt{m}) + T_H + \Delta_{сист} > T$, то можливий брак.

За відсутністю можливості підвищити точність операції настрійку верстата треба виконувати з таким розрахунком, щоб брак був виправним при подальшій обробці заготовок (рисунок 4.20, а).



а – брак виправний; б – брак виправний та невиправний
Рисунок 4.20 – Налаштування верстата для обробки з можливим браком, що враховує похибку налаштування (обробка вала)

Якщо брак виправити неможливо, налаштування необхідно виконувати для отримання мінімальної кількості можливого браку (невиправного та виправного) (рисунок 4.20, б). Кількість можливого браку в цьому випадку визначається коефіцієнтом ризику

$$t_o = x_o / \sigma,$$

для якого x_o визначається за формулою (див. рисунок 4.20, б):

$$x_o = \left(T - T_H - \frac{6\sigma}{\sqrt{m}} \right) / 2.$$

Доцільність такої настройки визначається економічними розрахунками.

Розрахунок режимів різання, що забезпечують досягнення потрібної точності та великої продуктивності

При точній обробці ставиться завдання великої продуктивності, економічності та забезпечення потрібної точності [9].

Проф. А. П. Соколовський запропонував формулу для розрахунку подачі при точінні в залежності від потрібної точності заготовки та похибки вихідної заготовки

$$s = \left(\frac{1}{\lambda C_p} \right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{1}{\varepsilon} \right)^{\frac{4}{3}} j^{\frac{4}{3}}.$$

Прийнявши $\lambda = \frac{P_y}{P_z} = 0,4$, $\varepsilon = \frac{\Delta_{\text{вих.заг}}}{\Delta_{\text{обр.заг}}}$, отримаємо

$$s = \left(\frac{2,5}{C_p} \right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{\Delta_{\text{обр.заг}}}{\Delta_{\text{вих.заг}}} \right)^{\frac{4}{3}} j^{\frac{4}{3}}.$$

Керування точністю обробки

а) Керування за вихідними даними (підналагодження верстатів). Під впливом систематичних змінних похибок миттєвий центр групування розмірів при обробці партії деталей поступово зміщується на величину A (рисунок 4.21) [1]. Через проміжок часу t_2 центр групування розмірів зміщується на величину A_1 , та сумарна крива розсіювання розмірів приймає форму розтягнутої параболи з полем розсіювання $\omega' = 6\sigma + A_1$. Поступово зі збільшенням A межа поля розсіювання буде наближатись до межі поля допуску T . У цей момент треба виконати підналагодження верстата.

Для запобігання появи браку через час t_2 виконують підналагодження верстата.

Підналагодженням верстата називається процес відновлення початкової точності взаємного розташування інструмента та оброблюваної заготовки, порушеного в процесі обробки партії заготовок.

Для компенсації зношення різця виконують переміщення різця на величину $A/2$ (усувають ймовірність браку). При скороченні t_2 до t_1 зміщення A вершини кривої розсіювання зменшується до A_1 , та сумарне розсіювання розмірів партії заготовок, оброблених між підналагодженнями, зменшується до $\omega' = 6\sigma + A_1$. Скорочуючи час між підналагодженнями, можна підвищити точність обробки.

Разом з тим зменшується продуктивність обробки через зупинки верстата для вимірювань та підналагодження.

Використання *автопідналагоджувачів* дозволяє вирішити завдання підвищення продуктивності та точності обробки.

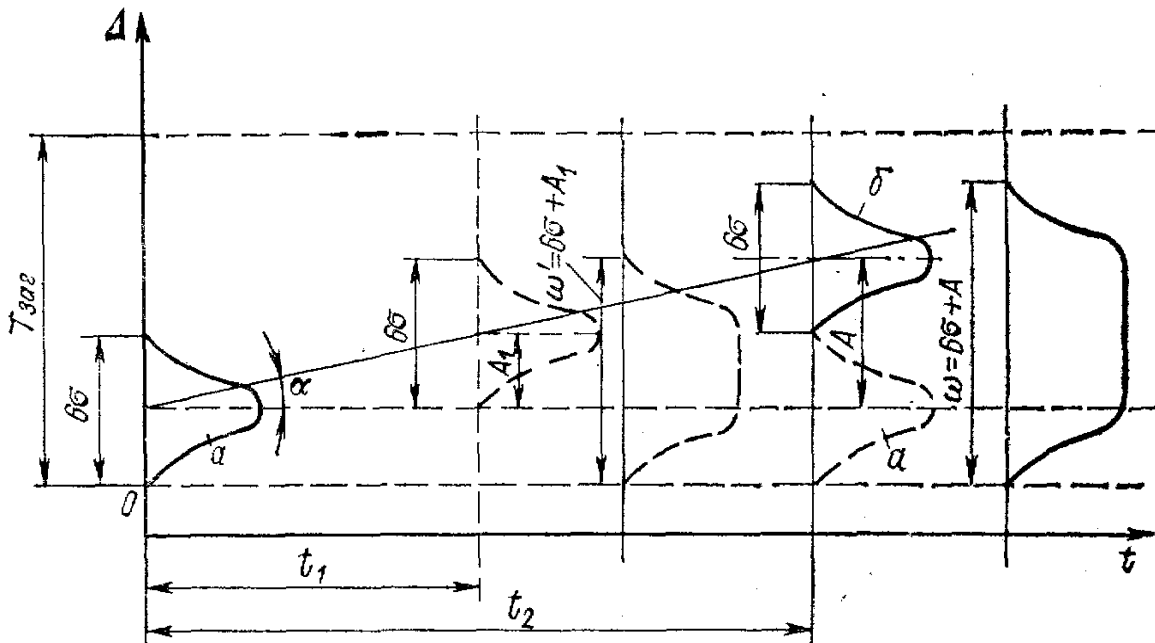


Рисунок 4.21 – Вплив змінних систематичних похибок на форму та положення кривої розсіювання

б) Керування точністю процесу обробки за вхідними даними.

Використовують наступні методи:

- 1) вимірювання твердості та розмірів заготовок та сортування їх на групи з внесенням змін в статичне налагодження верстата. Недоліком методу є велика трудомісткість та організаційна складність;
- 2) використання адаптивних методів керування на принципі компенсації пружних відтискувань у технологічній системі [1].

Регулювання подачі в процесі обробки заготовок дає можливість зменшити поле розсіювання розмірів оброблених заготовок та підвищити точність їх геометричної форми (на верстатах з ЧПК – зміна подачі по довжині заготовки).

Обробка заготовок з нерівномірним припуском з різною подачею дозволяє рівномірно навантажувати елементи технологічної системи, зменшити витрати на ріжучий інструмент та підвищити продуктивність технологічної системи.

Недоліком методу є вплив зміни подачі по довжині заготовки на шорсткість поверхні. Усувається виконанням опоряджувальної обробки, наприклад шліфуванням.

Контрольні запитання

- 1 Які методи забезпечення точності використовуються в машинобудуванні?
- 2 Які є причини виникнення випадкових похибок обробки? Наведіть приклади.
- 3 Які закони математичної статистики використовують для дослідження випадкових похибок обробки?
- 4 Які є причини виникнення систематичних постійних похибок обробки? Наведіть приклади.
- 5 Які є причини виникнення систематичних змінних похибок обробки? Наведіть приклади.
- 6 Які є причини виникнення похибки статичного і динамічного налагодження?
- 7 Що називається жорсткістю і податливістю технологічної системи? Поясніть механізм виникнення похибки оброблюваної поверхні через недостатню жорсткість технологічної системи.
- 8 Як визначається жорсткість технологічної системи статичним та динамічним методами?
- 9 Як визначається сумарна похибка механічної обробки?
- 10 Як забезпечується керування точністю процесу механічної обробки заготовок?

5 ЯКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

5.1 Основні поняття та визначення. Шорсткість поверхні

Якість поверхні – це стан поверхневого шару як результат дії на нього одного або послідовного комплексу технологічних методів.

Якість поверхні характеризується шорсткістю, хвилястістю, фізико-механічними властивостями поверхневого шару [8, 9, 20].

Стан поверхневого шару впливає на експлуатаційні властивості деталей машин: зносостійкість, вібростійкість, контактну жорсткість, міцність з'єднань, міцність конструкцій при циклічних навантаженнях і т. ін.

Шорсткість поверхні – це сукупність нерівностей обробленої поверхні з відносно малими кроками (ДСТУ 2789–73).

Хвилястість поверхні – це сукупність нерівностей, що періодично чергуються з відносно великим кроком, який перевищує при вимірюванні шорсткості базову довжину.

Для шорсткості характерно співвідношення $l/H < 50$, для хвилястості $l/H_{\text{хв}} = 50 \dots 1000$, для відхилень форми (макрогеометрії) $l/H_{\text{хв}} > 1000$.

Розрізняють *шорсткість поперечну*, що вимірюється в напрямку руху подачі, та *поздовжню*, що вимірюється в напрямку головного руху різання.

Крім того, розрізняють 2 види профілів мікронерівностей: *регулярний профіль*, коли мікронерівності розташовані як сукупність слідів визначеного, однакового напрямку з явно вираженим чергуванням (точіння, свердління, фрезерування, шліфування та ін.); *нерегулярний профіль*, коли немає чіткого чергування слідів (електроіскрова обробка, дробоструминна обробка та ін.).

Для оцінки шорсткості поверхні передбачено 6 параметрів:

висотні: Ra – середнє арифметичне відхилення профілю;

Rz – висота нерівностей по десяти точках;

$Rmax$ – найбільша висота профілю;

крокові: S – середній крок місцевих виступів профілю;

Sm – середній крок нерівностей профілю;

висотно-крокові: tp – відносна опорна довжина профілю.

Для висотних параметрів переважним є параметр Ra . Значення величин: $Ra = 100 \dots 0,08$ мкм; $l = 0,01 \dots 25$ мм.

Приблизне співвідношення параметрів Rz та Ra складає $Rz \approx 4Ra$.

Для різних методів механічної обробки приблизне співвідношення між Rz та Ra можна визначити як:

Ra : 0,012; 0,025; 0,05; 0,1; 0,2;	0,4; 0,8; 1,6; 3,2; 6,3;	12,5; 25; 50; 100
(опоряджувальна)	(чистова обробка)	(чорнова обробка)
Rz : 0,025; 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8;	1,6; 3,2; 6,3; 12,5; 25;	50; 100; 200; 400

На шорсткість поверхні, обробленої різанням, впливають:

- прийнятий вид та режим обробки;
- умови охолодження та змазування інструмента;
- хімічний склад та мікроструктура оброблюваного матеріалу;
- конструкція, геометрія і стійкість різального інструмента;
- тип та стан використовуваного обладнання, допоміжного інструмента і пристроїв.

Фактори, що визначають шорсткість поверхні, об'єднуються у три основні групи:

- 1) причини, пов'язані з геометрією процесу різання;
- 2) причини, пов'язані з пластичною та пружною деформаціями оброблюваного матеріалу;
- 3) виникнення вібрацій різального інструмента відносно оброблюваної поверхні.

Геометричні причини виникнення шорсткості. При збільшенні подачі s величина Rz збільшується та навпаки. Збільшення радіусу заокруглення вершини різця r викликає зменшення Rz (рисунок 5.1). Збільшення головного φ та допоміжного φ_1 кутів різця в плані призводить до збільшення шорсткості. Проф. В. Л. Чебишев запропонував формулу

$$Rz = s^2 / 8r.$$

При затупленні різального інструмента та появі на ньому щербин шорсткість поверхні зростає: при точінні – на 50...60 %; при фрезеруванні циліндричними фрезами – на 100...115 %; при фрезеруванні торцевими фрезами – на 35...45 %; при свердлінні – на 30...40 %; при розгортанні – на 20...30 %.

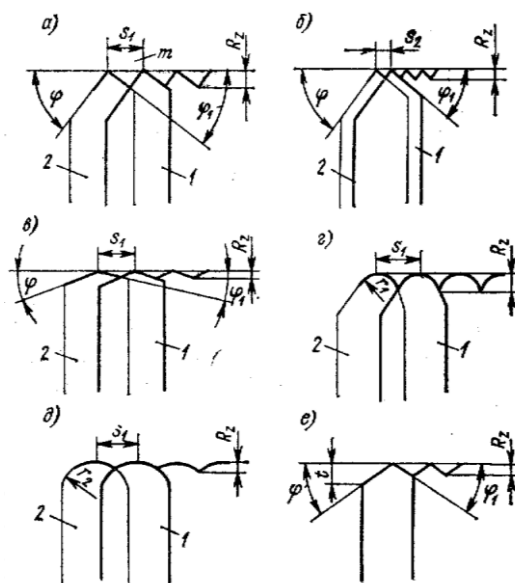


Рисунок 5.1 – Геометричні причини утворення шорсткості при точінні

При чистовій обробці треба користуватись прохідними різцями з малими значеннями φ та φ_1 , не треба без особливої необхідності використовувати підрізні різці. Зниження шорсткості різальних поверхонь інструмента використанням доведення усуває вплив шорсткості різального леза на оброблювану поверхню. Доведення, крім того, підвищує стійкість різального інструмента.

Пластичні та пружні деформації металу поверхневого шару. При обробці різанням пластичних матеріалів метал поверхневого шару зазнає пластичної деформації, внаслідок чого змінюються розміри та форма нерівностей обробленої поверхні (шорсткість збільшується).

При обробці крихких металів (наприклад, чавунів) відбувається вививання окремих часток металу, що також збільшує шорсткість поверхні.

При швидкостях різання $v > 5$ м/хв на передній поверхні різця утворюється нарост. При $v = 20 \dots 40$ м/хв нарост найбільший та стійкий. При $v > 70$ м/хв нарост не утворюється. Утворення наросту приводить до збільшення шорсткості. Подача також впливає на шорсткість (рисунок 5.2).

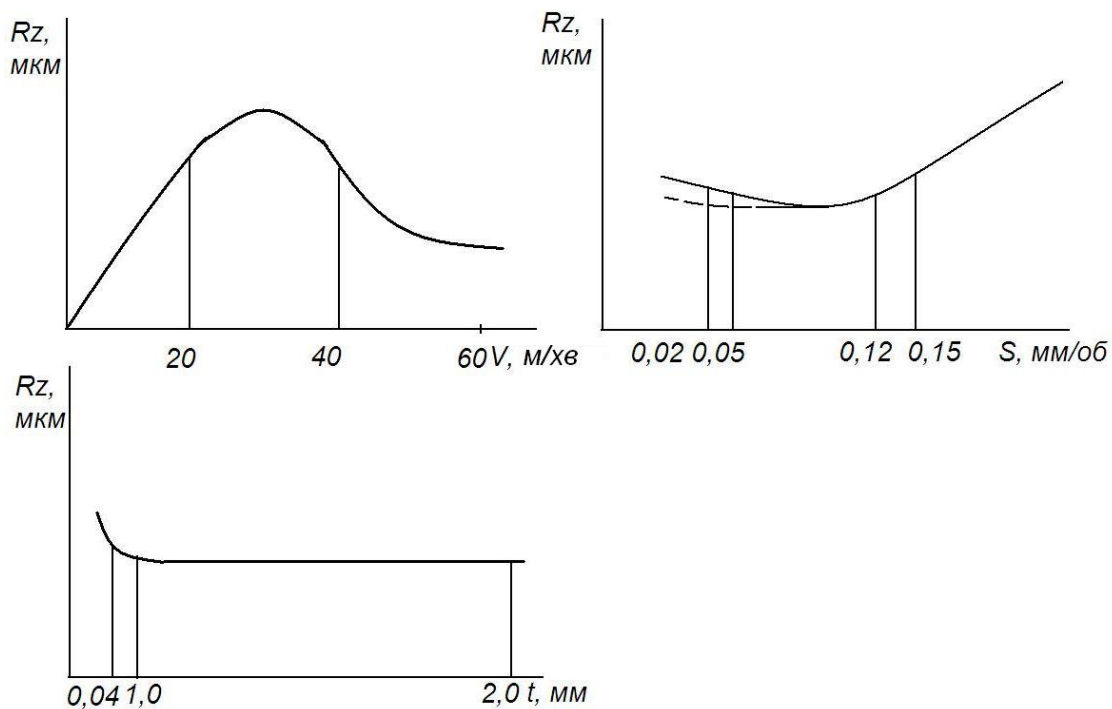


Рисунок 5.2 – Вплив параметрів режимів різання на шорсткість поверхні

Глибина різання практично не впливає на шорсткість поверхні. Тільки при глибинах різання, менших 0,5 мм, шорсткість поверхні при лезовій обробці збільшується.

Структура металу також впливає на шорсткість поверхні. Більш в'язкі та пластичні матеріали (наприклад, маловуглецева сталь) викликають появу при обробці різанням поверхні з великою шорсткістю.

Зі збільшенням твердості оброблюваних матеріалів шорсткість зменшується. Рекомендується виконувати попередню термообробку конструкційних матеріалів.

Використання мастильно-охолоджуючих рідин попереджує тужавіння (а відповідно і наклеп), зменшує тертя та полегшує процес стружкоутворення. Одночасно зменшується шорсткість обробленої поверхні, зменшуються сили тертя, збільшується стійкість інструмента та покращується відведення тепла із зони різання.

Віб्राції різального інструмента, верстата і заготовки. Вібрація леза різального інструмента викликає збільшення шорсткості поверхні. Відсутність значних вібрацій верстата сприяє зменшенню шорсткості.

Похибка форми заготовки (наприклад, нерівномірність припуску) призводить до коливання сил різання, що збільшує шорсткість поверхні.

Для вимірювання шорсткості поверхні використовують профілометри (по Ra), профілографи (по Ra та Rz), мікроінтерферометри (по Rz), метод порівняння з еталонами шорсткості.

5.2 Деформаційне зміцнення металу поверхневого шару

При обробці заготовок різанням під дією сил різання в металі поверхневого шару відбувається пластична деформація, яка супроводжується його *деформаційним зміцненням (наклепом)* [8].

Інтенсивність та глибина розповсюдження наклепу зростають зі збільшенням сил різання та тривалості їх дії, а також із підвищенням ступеня пластичної деформації металу поверхневого шару.

Одночасно зі зміцненням (під дією нагрівання зони різання) в металі поверхневого шару відбувається спочинок, що повертає метал в його попередній ненаклепаний стан. Остаточний стан металу поверхневого шару визначається співвідношенням швидкостей протікання процесів зміцнення та розміцнення, яке залежить від переважання дії в зоні різання силового або теплового фактору.

Зміна режимів різання (збільшення сил різання) призводить до підвищення ступеня наклепу.

При точінні зі збільшенням подачі та глибини різання, у зв'язку зі збільшенням радіусу заокруглення різального леза та при переході від додатних передніх кутів різця до від'ємних кутів наклеп збільшується.

При фрезеруванні збільшення подачі та глибини різання підвищує ступінь наклепу. Збільшується наклеп при зношенні різального інструмента. При зустрічному фрезеруванні наклеп більше, ніж при попутному.

При шліфуванні збільшення глибини шліфування, частоти обертання деталі (або поздовжньої подачі стола при плоскому шліфуванні), а також розміру та радіуса заокруглення абразивних зерен сприяє збільшенню наклепу.

Глибина наклепу для різних методів обробки: точіння чорнове – 0,2...0,5 мм, точіння чистове – 0,05 мм; фрезерування циліндричне – 0,12 мм, фрезерування торцеве чорнове – 0,2...0,5 мм, фрезерування торцеве чистове – 0,1 мм; шліфування незагартованої сталі – 0,015...0,02 мм, шліфування загартованої сталі – 0,02...0,03 мм.

Мікротвердість поверхневого шару визначають дослідженням мікрошліфів методом удавлювання алмазної піраміди з кутом при вершині 136° під дією невеликої сили F у досліджувану поверхню, на якій виконано косий шліф (зріз) під кутом $\alpha = 0^\circ 30' \dots 2^\circ$, на приладі ПМТ-3, ПМТ-5 (рисунок 5.3).

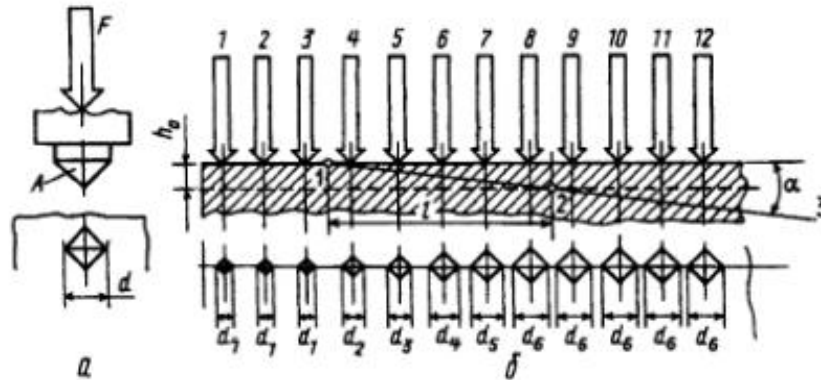


Рисунок 5.3 – Визначення мікротвердості

Глибина наклепаного шару $h_0 = l \operatorname{tg} \alpha$. Відстань l визначається між позиціями 1 і 2, де змінюється величина відбитку пірамідки. Вимірюють діагоналі відбитків пірамідки та за таблицями визначають величину мікротвердості, а також глибину наклепу [19].

5.3 Залишкові напруження поверхневого шару

За класифікацією М. М. Давиденкова, залишкові напруження поділяються на три категорії [15]:

- *напруження першого роду* викликаються крупними дефектами матеріалу; виникають та урівноважуються в макрооб'ємах (макронапруження);

- *напруження другого роду* викликаються неоднорідністю кристалічної структури; виникають та урівноважуються в межах кристалів та груп кристалів (мікронапруження);

- *напруження третього роду* викликаються дефектами атомно-кристалічних ґраток (дислокацій); виникають та урівноважуються в межах елементарних атомно-кристалічних ґраток (субмікронапруження).

Причини виникнення залишкових напружень

1 Збільшення об'єму пластично-деформованого металу поверхневого шару на глибину проникнення пластичної деформації. У результаті в зовнішньому шарі виникають напруження стискування, а у внутрішніх шарах – напруження розтягування.

2 Ріжучий інструмент при відокремленні стружки витягує кристалічні зерна металу підрізевого шару, які при цьому піддаються пружній та пластичній деформації розтягування в напрямку різання. Тертя задньої поверхні інструмента по оброблюваній поверхні сприяє розтягуванню кристалічних зерен металу поверхневого шару. Після проходження інструмента в поверхневому шарі утворюються напруження стискування, а у внутрішніх шарах – напруження розтягування.

3 При обробці пластичних матеріалів після пластичного витягування кристалічних зерен металу поверхневого шару в напрямку різання відбувається їх додаткове витягування під дією зв'язаної з оброблюваною поверхнею стружки за напрямком сходження стружки, тобто уверх. Це призводить до виникнення залишкових напружень розтягування.

4 Теплота, що виділяється в зоні різання, призводить до нагрівання поверхневого шару металу та збільшенню його питомого об'єму. Після припинення дії різального інструмента відбувається швидке охолодження поверхневого шару, його стискання, чому заважають холодні внутрішні шари металу. У результаті у зовнішніх шарах металу виникають залишкові напруження розтягування, а у внутрішніх шарах – залишкові напруження стискування.

5 При обробці металів, схильних до фазових перетворень, при нагріванні зони різання відбуваються структурні перетворення, що пов'язані з об'ємними змінами металу. У шарах металу, що мають структуру з більшим питомим об'ємом, виникають залишкові напруження стискування, в шарах металу зі структурою з меншим питомим об'ємом виникають залишкові напруження розтягування. Який з факторів буде переважати, таким чином визначиться характер розподілу залишкових напружень.

Збільшення впливу силового фактору та збільшення ступеня пластичної деформації (при відповідних режимах різання) викликає збільшення залишкових напружень стискування.

Збільшення впливу теплового фактору (підвищення швидкості різання, зменшення теплопровідності оброблюваного матеріалу й різального інструмента, збільшення тривалості контакту оброблюваної поверхні з інструментом, погіршення умов охолодження) обумовлює збільшення залишкових напружень розтягування або перетворення залишкових напружень стискування в залишкові напруження розтягування.

Точіння. При обробці пластичних матеріалів збільшення швидкості різання й подачі, зношення різального інструмента призводить до виникнення залишкових напружень розтягування. При обробці малопластичних матеріалів (сталь 30ХГС) збільшення швидкості різання й подачі, зношен-

ня різального інструмента сприяє виникненню залишкових напружень стискування.

Шліфування. Підвищення температури зони різання внаслідок збільшення частоти обертання круга, засолювання круга, збільшення глибини шліфування та подачі, зменшення швидкості обертання деталі сприяє збільшенню залишкового напруження розтягування або зменшенню залишкового напруження стискування та навпаки.

Хонінгування, суперфінішування забезпечують залишкові напруження стискування.

Методи вимірювання залишкових напружень. У машинобудуванні для визначення залишкових напружень використовують руйнівні механічні (метод прямокутних стрижнів, метод кілець, метод циліндрів, метод отвору та ін.) та неруйнівні фізичні (рентгенографічний, ультразвуковий, магнітопружний, вихрових струмів та ін.) методи.

5.4 Технологічні методи підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин. Технологічна спадковість

а) Вплив шорсткості поверхні на експлуатаційні властивості. *Тертя та спрацьовування* деталей у значній мірі пов'язані з висотою та формою нерівностей поверхні й напрямком штрихів обробки [9]. У початковий період роботи поверхонь, що труться, у місці контакту по вершинах нерівностей виникають великі тиски; у результаті відбуваються їх пружне стискання та пластична деформація змінання нерівностей, а при взаємному переміщенні поверхонь – зрізання, відламування та пластичний зсув вершин нерівностей, що призводить до інтенсивного початкового зношення поверхонь, що труться. Збільшується зазор пари, що треться.

Зменшення висоти нерівностей викликає різке зростання зношення у зв'язку з виникненням молекулярного зчеплення та заїдання поверхонь з малою шорсткістю, що щільно стикаються, чому сприяють видавлювання мастила та погана змочуваність мастилом дзеркально-чистих поверхонь.

Точність сполучення, що установлена кресленням та визначається зазором у з'єднанні, залежить від шорсткості поверхонь з'єднання.

Рекомендується установлювати необхідну висоту шорсткості в залежності від потрібної точності проєктованого сполучення:

при діаметрі сполучення > 50 мм:

$$Rz = (0,1 \dots 0,15)T;$$

при діаметрі сполучення від 18 до 50 мм:

$$Rz = (0,15 \dots 0,2)T;$$

при діаметрі сполучення < 18 мм:

$$Rz = (0,2 \dots 0,25)T \quad (T \text{ та } Rz \text{ в мкм}).$$

Міцність пресових з'єднань зі збільшенням шорсткості сполучених поверхонь знижується.

Міцність від утомленості деталей, що працюють в умовах циклічних навантажень, зі збільшенням шорсткості зменшується (утворюються тріщини).

б) Вплив деформаційного зміцнення (наклепу) металу поверхневого шару. Зміцнення поверхневого шару металу сприяє підвищенню зносостійкості деталей; міцності від утомленості (попереджає утворення тріщин). Наклеп та залишкові напруження поверхневого шару при обробці різанням сприяють зменшенню корозійної стійкості при статичному навантаженні в корозійному середовищі.

Створення наклепу методами поверхнево-пластичного деформування (ППД) підвищує корозійну стійкість (відбувається завальцювання шляхів проникнення корозійного середовища всередину металу).

Для деталей, що працюють при температурі вище $700 \dots 800 \text{ }^{\circ}\text{C}$, наклеп поверхневого шару недопустимий.

в) Вплив залишкових напружень. При наявності в поверхневому шарі деталей залишкових напружень стискування межа витривалості деталі підвищується на 50 %, а при наявності залишкових напружень розтягування – знижується на 30 %.

При нагріванні в поверхневому шарі відбувається релаксація залишкових напружень, та їх вплив на межу витривалості зменшується.

Технологічна спадковість в машинобудуванні. *Технологічною спадковістю* називається перенесення на готовий виріб в процесі його обробки похибок, механічних і фізико-хімічних властивостей вихідної заготовки або властивостей та похибок, що сформовані у заготовки на окремих операціях виготовлення виробу [9, 20].

Носіями спадкової інформації є власно матеріал деталі, а також її поверхні. Носії інформації активно приймають участь в технологічному процесі, проходячи різні операції, в ході яких вони можуть змінювати свої властивості частково або повністю. Типовою операцією, що затримує або виключає передачу спадкових властивостей, є термічна обробка.

Технологічна спадковість конструктивних форм відбувається, наприклад, при протягуванні. При протягуванні отвору силою F у заготовці виникне відхилення отвору від циліндричності, через те, що заготовка має в перерізах 1–1 та 2–2 різну жорсткість (рисунок 5.4). Сила, що діє з боку протяжки, викликає в кожному поперечному перерізі різні деформації, що призводить до відхилення твірної отвору від прямолінійності, а поверхонь отвору – від циліндричності.

Технологічну спадковість технологічних баз розглянемо на прикладі шліфування заготовок, установлених в центрах (рисунок 5.5, а).

Шліфування виконується широким кругом. Технологічні бази – конічні поверхні B центрових отворів. На заготовку діє сила P . На поверхнях центрових отворів через особливості їх виготовлення виникає хвилястість. Виникає 2, 3 або 5 хвиль (рисунок 5.5, б). При центрах, що не обертаються, та постійному напрямку сили P жорсткість системи «заготовка-центри» є змінною.

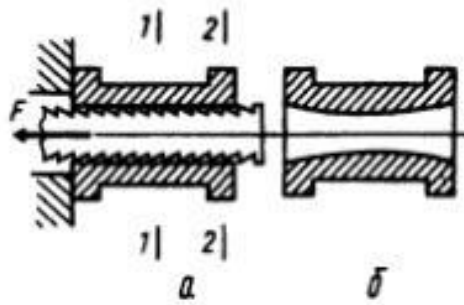


Рисунок 5.4 – Технологічна спадковість конструктивних форм

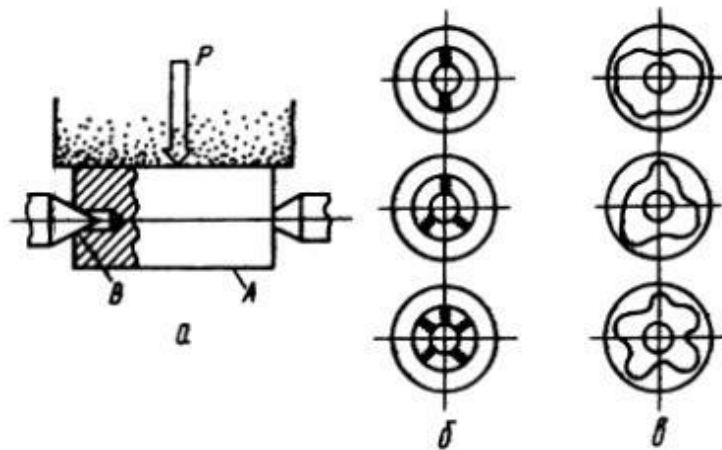


Рисунок 5.5 – Технологічна спадковість технологічних баз

На оброблюваній поверхні *A* виникають відхилення форми (рисунок 5.5, *в*). Кількість виступів та западин на поверхні *A* точно відповідає кількості хвиль на технологічних базах. Тобто похибки технологічних баз переносяться (спадкуються) на оброблювану поверхню.

Технологічна спадковість від верстатних пристроїв. Відхилення форми розточуваного отвору та характер похибки відповідають кількості затискних елементів (кулачків) токарного патрона (рисунок 5.6). При використанні патронів з двома кулачками на отворі виникає овал, а при використанні чотирьох кулачків – чотири хвилі на отворі й т. ін.

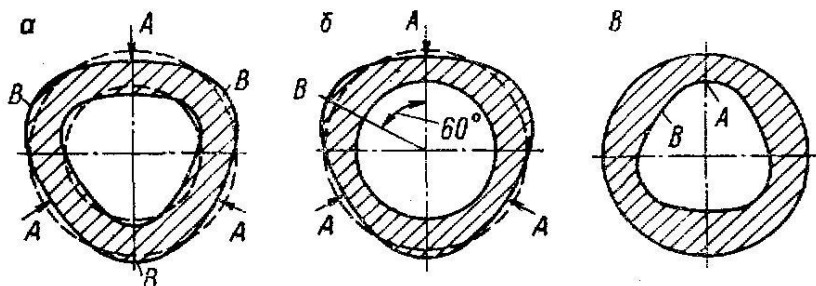


Рисунок 5.6 – Технологічна спадковість від верстатних пристроїв

Для кількісної характеристики технологічної спадковості використовують коефіцієнти k технологічної спадковості. Наприклад, $k = 60/20 = 3$ означає, що відхилення від круглоти було до проведення операції 60 мкм, а після її проведення – 20 мкм.

Будь-яка властивість x_i деталі може бути визначена, як

$$x_i = \frac{1}{k} x_{i-1},$$

де i – номер технологічної операції або технологічного переходу.

Якщо величина спадкової властивості невелика, то явище технологічної спадковості можна не враховувати.

Контрольні запитання

- 1 Якими показниками визначається якість поверхні?
- 2 Якими параметрами визначається шорсткість поверхні і як вона впливає на експлуатаційну надійність деталі?
- 3 Як впливають режими обробки різанням і геометрія різального інструмента на шорсткість поверхні?
- 4 Якими параметрами характеризується зміцнений поверхневий шар деталі та як він впливає на експлуатаційну надійність деталі?
- 5 Як вимірюють мікротвердість поверхневого шару обробленої деталі?
- 6 Від яких факторів залежать величина та знак залишкових напружень у поверхневому шарі металу після механічної обробки та як вони впливають на експлуатаційну надійність деталі?
- 7 Що називається технологічною спадковістю та як вона впливає на експлуатаційну надійність деталі?

6 ПРИПУСКИ НА ОБРОБКУ ЗАГОТОВОК

6.1 Класифікація припусків

Загальним припуском на обробку називається шар металу, який видаляється з поверхні вихідної заготовки в процесі механічної обробки для одержання готової деталі [9].

Призначення надзвичайно великих припусків призводить до непродуктивних втрат матеріалу, що перетворюється у стружку; до збільшення трудомісткості механічної обробки; до збільшення витрат різального інструмента та електроенергії; до збільшення потреби в обладнанні та робочій силі.

Призначення недостатньо великих припусків не забезпечує видалення дефектних шарів матеріалу та досягнення потрібної точності та шорсткості оброблюваних поверхонь; викликає підвищення вимог до точності вихідних заготовок та призводить до їх подорожчання; утруднює розмітку та вивірку заготовок на верстаті, збільшує ймовірність появи браку.

Операційний припуск – це шар металу, що видаляється із заготовки при виконанні однієї технологічної операції (рисунок 6.1).

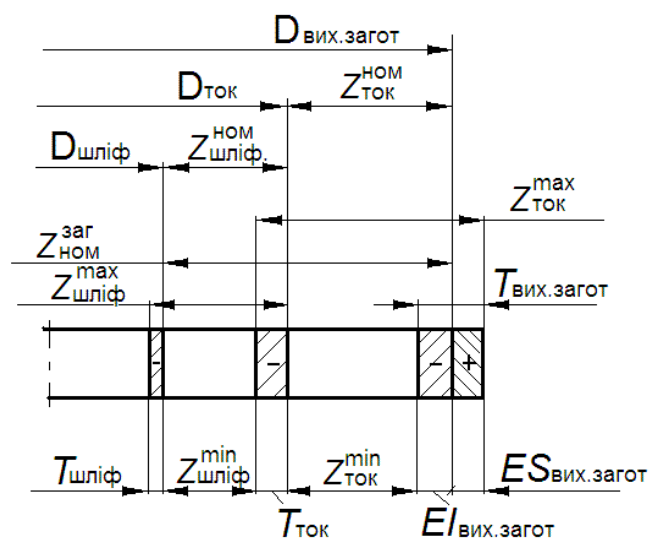


Рисунок 6.1 – Схема розташування припусків та допусків на токарну та шліфувальну операцію вала (метод пробних ходів та промірів)

Загальний номінальний (розрахунковий) припуск на обробку $z_{ном}$ визначається як різниця номінальних розмірів вихідної заготовки та готової деталі (після шліфування), тобто

$$z_{ном} = D_{вих.заг} - D_{дет},$$

або дорівнює сумі номінальних (розрахункових) припусків на окремі операції, тобто

$$z_{ном} = \sum_{i=1}^n z_{i_{ном}} .$$

Мінімальний операційний припуск z_i^{min} – це різниця між найменшим граничним розміром до обробки та найбільшим граничним розміром після обробки на даній операції.

Максимальний операційний припуск z_i^{max} – це різниця між найбільшим граничним розміром до обробки та найменшим граничним розміром після обробки на даній операції, або

$$z_i^{max} = z_i^{min} + TA_{i-1} + TA_i ,$$

де TA_{i-1} і TA_i – допуски для попередньої та наступної операції або переходів.

Допуск припуску – це різниця між максимальним та мінімальним значеннями розміру припуску.

Номінальний (розрахунковий) операційний припуск $z_{i_{ном}}$ – це різниця номінальних розмірів виробу до та після обробки на даній операції.

$$z_{i_{ном}} = D_{i-1} - D_i \quad \text{або} \quad z_{i_{ном}} = z_{i_{ном}}^{min} + TA_{i-1} .$$

При обробці на попередньо налагоджених верстатах за методом автоматичного отримання розмірів в умовах серійного виробництва заготовки мають коливання розмірів у межах допуску, тому дійсні припуски на обробку будуть різними (рисунок 6.2). Коливання розмірів при обробці відбуваються через нежорсткість технологічної системи [8].

У заготовки з найменшим граничним розміром a_{min} при обробці на розмір b найбільший припуск на обробку – z_{imin} , а у заготовки з найбільшим граничним розміром a_{max} найбільший припуск на обробку – z_{imax} .

Величина мінімального проміжного припуску визначається, як

$$z_i^{min} = a_{min} - b_{min} ,$$

а величина найбільшого припуску

$$z_i^{max} = a_{max} - b_{max} .$$

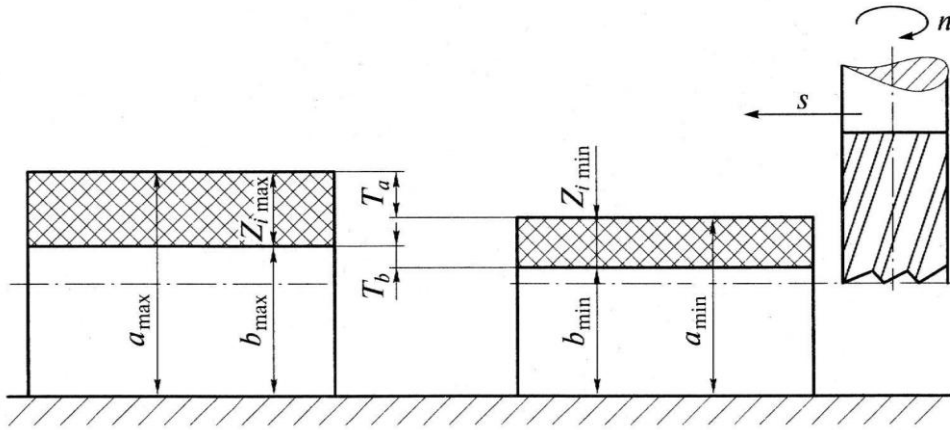


Рисунок 6.2 – Схема для розрахунку проміжних розмірів заготовки

Враховуючи, що

$$a_{\max} = a_{\min} + T_a \quad \text{та} \quad b_{\max} = b_{\min} + T_b,$$

отримаємо

$$z_i^{\max} = a_{\min} + T_a - b_{\min} - T_b = Z_{i\min} + T_a - T_b,$$

де T_a – допуск на розмір заготовки;

T_b – допуск на розмір, що виконується.

Схеми розташування припусків та допусків на обробку вала та на обробку отвору на налагодженому верстаті наведені на рисунках 6.3 та 6.4 відповідно.

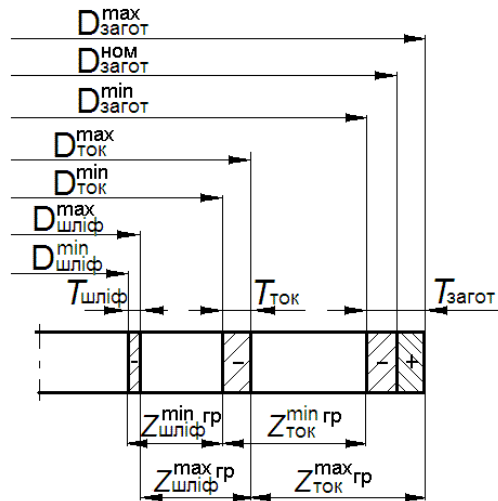


Рисунок 6.3 – Схема розташування припусків та допусків на обробку вала на налагодженому верстаті при автоматичному отриманні розмірів (припуск на діаметр)

$$2z_{\max\text{шліф}}^{\text{рп}} = D_{\max\text{ток}} - D_{\max\text{шліф}}, \quad 2z_{\min\text{шліф}}^{\text{рп}} = D_{\min\text{ток}} - D_{\min\text{шліф}}.$$

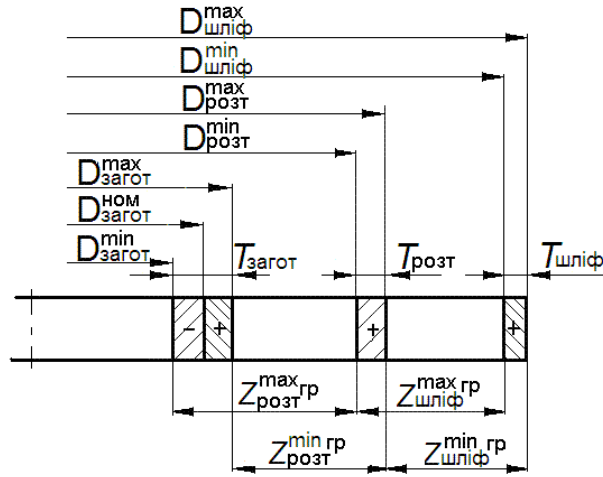


Рисунок 6.4 – Схема розташування припусків та допусків на обробку отвору на налагодженому верстаті при автоматичному отриманні розмірів (припуск на діаметр)

$$2z_{\min_{\text{шліф}}}^{\text{сп}} = D_{\text{максшліф}} - D_{\text{максрозт}}, \quad 2z_{\text{максшліф}}^{\text{сп}} = D_{\text{міншліф}} - D_{\text{мінрозт}}.$$

6.2 Методи визначення припусків на механічну обробку

1 *Визначення припусків за таблицями стандартів* виконується на відливки з металів та сплавів за ГОСТ 26645–85, на поковки штамповані за ГОСТ 7505–89, на поковки виготовлені на молотах за ГОСТ 7829–70, на поковки виготовлені на пресах за ГОСТ 7062–90 [16].

2 *Дослідно-статистичний метод* використовується для визначення операційних розмірів D_{i-1} за формулами:

$$D_{i-1} = D_i + z_{i_{\min}} + T_{i-1} - \text{для вала},$$

$$D_{i-1} = D_i - z_{i_{\min}} - T_{i-1} - \text{для отвору},$$

де $z_{i_{\min}}$ – мінімальний припуск на операцію (нормативний);

T_{i-1} – операційний допуск.

Величина мінімальних припусків визначається за довідниками [10, 24].

3 *Розрахунково-аналітичний метод* запропонований проф. В. М. Кованом.

Мінімальний припуск визначається за формулами [5, 16, 24]:

а) при послідовній обробці протилежних або окремо розташованих поверхонь

$$z_{i_{\min}} = Rz_{i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i,$$

де Rz_{i-1} – параметр шорсткості оброблюваної поверхні;

h_{i-1} – глибина дефектного шару;

ρ_{i-1} – сумарне значення просторових відхилень, що залишилися від попередньої обробки;

ε_i – похибка установки заготовки на виконуваному переході.

б) при паралельній обробці протилежних поверхонь

$$2z_{i_{\min}} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i);$$

в) при обробці зовнішніх або внутрішніх поверхонь обертання

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

г) при токарній обробці циліндричної заготовки, установленної в центрах, безцентровому шліфуванні

$$2z_{i_{\min}} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1});$$

д) при розвертанні плаваючою розверткою, протягуванні отворів

$$2z_{i_{\min}} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1});$$

е) при суперфінішуванні, поліруванні та розкатуванні (обкатуванні)

$$2z_{i_{\min}} = 2Rz_{i-1};$$

е) при шліфуванні після термообробки:

1) при наявності ε_i

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

2) при відсутності ε_i

$$z_{i_{\min}} = Rz_{i-1} + \rho_{i-1};$$
$$2z_{i_{\min}} = 2(Rz_{i-1} + \rho_{i-1}).$$

Rz_{i-1} та h_{i-1} призначають за таблицями довідників [5, 16, 24].

Похибки установки визначаються за формулою

$$\varepsilon_i = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{np}^2},$$

де ε_{δ} – похибка базування (визначається розрахунком);

ε_3 – похибка закріплення (визначається за довідником [5, 16, 24]);

ε_{np} – похибка пристрою (визначається за довідником [5, 16, 24]).

Похибка установки виключається з розрахунків, якщо деталь на наступних етапах установлюється так само, як і на попередньому етапі.

Просторові відхилення визначаються в залежності від способу отримання заготовки за довідниками [16, 24].

Розрахунок припусків та операційних розмірів виконується в наступній послідовності:

а) складається план обробки поверхні, який враховує точність розміру, що отримується на кожному етапі обробки;

б) виконується розрахунок операційних припусків та розмірів в послідовності, зазначеній в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Порядок розрахунку припусків на обробку та граничних розмірів по технологічних переходах розрахунково-аналітичним методом

Для зовнішніх поверхонь	Для внутрішніх поверхонь
1 Записати в розрахункову карту оброблювані поверхні заготовки й технологічні переходи в порядку їх виконання від заготовки до кінцевої обробки.	
2 Указати значення Rz , h , T та розрахувати ρ , ε .	
3 Визначити розрахункові мінімальні припуски Z_{\min} ($2Z_{\min}$) за всіма переходами.	
4 Розрахувати для кінцевого переходу і записати в графу «Розрахунковий розмір» найменший граничний розмір деталі за кресленням.	4 Розрахувати для кінцевого переходу і записати в графу «Розрахунковий розмір» найбільший граничний розмір деталі за кресленням.
5 Для переходу, попереднього кінцевому, визначити розрахунковий розмір додаванням до найменшого граничного розміру за кресленням розрахункового припуску Z_{\min} ($2Z_{\min}$).	5 Для переходу, попереднього кінцевому, визначити розрахунковий розмір відніманням від найбільшого граничного розміру за кресленням розрахункового припуску Z_{\min} ($2Z_{\min}$).
6 Послідовно визначити розрахункові розміри для кожного попереднього переходу додаванням до розрахункового розміру розрахункового припуску Z_{\min} ($2Z_{\min}$) наступного за ним суміжного переходу.	6 Послідовно визначити розрахункові розміри для кожного попереднього переходу відніманням від розрахункового розміру розрахункового припуску Z_{\min} ($2Z_{\min}$) наступного за ним суміжного переходу.
7 Записати найменші граничні розміри по всіх переходах, округляючи їх збільшенням розрахункових розмірів.	7 Записати найбільші граничні розміри по всіх переходах, округляючи їх зменшенням розрахункових розмірів.

Продовження таблиці 6.1

Для зовнішніх поверхонь	Для внутрішніх поверхонь
8 Визначити найбільші граничні розміри додаванням допуску до округленого найменшого граничного розміру.	8 Визначити найменші граничні розміри відніманням допуску від округленого найбільшого граничного розміру.
9 Записати граничні значення припусків Z_{\max} ($2Z_{\max}$) як різницю найбільших граничних розмірів і Z_{\min} ($2Z_{\min}$) як різницю найменших граничних розмірів попереднього та виконуваного переходів.	9 Записати граничні значення припусків Z_{\max} ($2Z_{\max}$) як різницю найменших граничних розмірів і Z_{\min} ($2Z_{\min}$) як різницю найбільших граничних розмірів виконуваного та попереднього переходів.
10 Визначити загальні припуски $Z_{\text{омах}}$ і $Z_{\text{оmin}}$, підсумовуючи проміжні припуски на обробку.	
11 Перевірити правильність розрахунків за формулами: $Z_{\text{омах}} - Z_{\text{оmin}} = T_z - T_\delta,$ $2Z_{\text{омах}} - 2Z_{\text{оmin}} = TD_z - TD_\delta.$	
12 Визначити загальний номінальний припуск за формулами: $Z_{\text{оном}} = Z_{\text{оmin}} + H_z - H_\delta,$ $2Z_{\text{оном}} = 2Z_{\text{оmin}} + HD_z - HD_\delta.$	12 Визначити загальний номінальний припуск за формулами: $Z_{\text{оном}} = Z_{\text{оmin}} + B_z - B_\delta,$ $2Z_{\text{оном}} = 2Z_{\text{оmin}} + BD_z - BD_\delta.$
Розмір заготовки (тіло обертання) $D_{\text{зном}} = D_\delta + 2Z_{\text{оном}}.$	Розмір заготовки (тіло обертання) $D_{\text{зном}} = D_\delta - 2Z_{\text{оном}}.$

Приклад. Визначити розрахунково-аналітичним методом величини припусків та операційних розмірів на розмір $\text{Ø}60\text{f}7$ (${}_{-0,060}^{-0,030}$). Ескіз деталі представлений на рисунку 6.5.

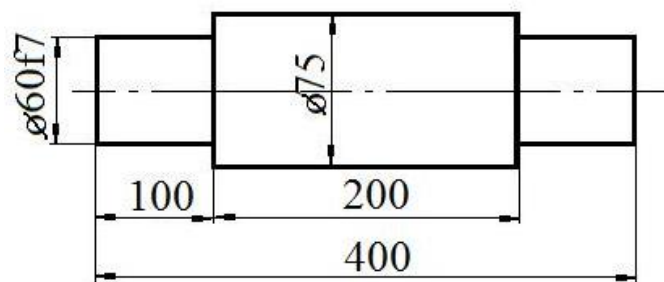


Рисунок 6.5 – Ескіз деталі

Вихідні дані: тип виробництва – серійне; заготовка – штамповка; С1М2Т4, вихідний індекс – 14; допуск – $2,8$ ($\pm_{1,0}^{1,8}$) (ГОСТ 7505–89). Матеріал деталі – сталь 45, маса – 11,3 кг.

Коефіцієнт уточнення

$$K_{ym} = \frac{T_{заг}}{T_{дет}} = \frac{2,8}{0,030} = 93,3.$$

Кількість переходів (етапів)

$$n = \frac{\lg K_{ym}}{0,46} = \frac{\lg 93,3}{0,46} = 4,3. \quad \text{Приймається} \quad n = 4.$$

План обробки поверхні $\varnothing 60f7$ ($^{+0,030}_{-0,060}$):

Заготовка (штампівка)	Rz = 240 мкм; h = 250 мкм; T = 2,2 мм
Точіння чорнове (IT12)	Rz = 50 мкм; h = 50 мкм; T = 0,3 мм
Точіння чистове (IT9)	Rz = 25 мкм; h = 25 мкм; T = 0,074 мм
Шліфування попередн. (IT8)	Rz = 10 мкм; h = 20 мкм; T = 0,046 мм
Шліфування остаточ. (IT7)	Rz = 5 мкм; h = 15 мкм; T = 0,030 мм

Результати розрахунків відображуються в таблиці 6.2.

Сумарне просторове відхилення:

$$\rho = \sqrt{\rho_{кор}^2 + \rho_{см}^2 + \rho_{ц}^2} = \sqrt{0,6^2 + 0,8^2 + 0,7^2} = 1,22 \text{ мм};$$

$$\rho_{см} = 0,8 \text{ мм} \quad (\text{ГОСТ 7505-89});$$

$$\rho_{кор} = \Delta_{\kappa} L = 0,6 \cdot 100 = 600 \text{ мкм} = 0,6 \text{ мм};$$

$$\rho_{ц} = 0,25 \sqrt{\delta_D^2 + 1} = 0,25 \sqrt{2,8^2 + 1} = 0,7 \text{ мм}.$$

Залишкові просторові відхилення:

- після чорнового точіння $\rho_1 = 0,06 \cdot 1220 = 73 \text{ мкм};$

- після чистового точіння $\rho_2 = 0,04 \cdot 1220 = 49 \text{ мкм};$

- після попереднього шліфування $\rho_3 = 0,02 \cdot 1220 = 24 \text{ мкм}.$

Через те, що обробка виконується в центрах, $\varepsilon = 0$.

Мінімальний припуск:

- під чорнове точіння

$$2z_{1\min} = 2(240 + 250 + 1220) = 3420 \text{ мкм};$$

- під чистове точіння

$$2z_{2\min} = 2(50 + 50 + 73) = 346 \text{ мкм};$$

- під попереднє шліфування

$$2z_{3\min} = 2(25 + 25 + 49) = 198 \text{ мкм};$$

- під остаточне шліфування

$$2z_{4\min} = 2(10 + 20 + 24) = 108 \text{ мкм}.$$

Таблиця 6.2 – Розрахункова таблиця з визначення припусків та операційних розмірів

Технологічні переходи	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск, $2Z_{min}$,	Розрахунковий розмір, мм	Допуск, T , мм	Граничний розмір, мм		Граничний припуск, мкм	
	Rz	h	ρ	ε				d_{min}	d_{max}	$2Z_{min}$	$2Z_{max}$
Заготовка	240	250	1220	-	-	64,02	2,8	64,02	66,82	-	-
Точіння чорнове	50	50	73	-	3420	60,6	0,3	60,6	60,9	3420	5920
Точіння чистове	25	25	49	-	346	60,25	0,074	60,25	60,32	350	580
Шліфування попереднє	10	20	24	-	198	60,05	0,046	60,05	60,1	200	220
Шліфування остаточне	5	15	-	-	108	59,94	0,030	59,94	59,97	110	130
								Разом		4080	6850

Розрахунковий розмір:

$$d_{pi} = d_{pi-1} + 2z_{mini-1};$$

$$d_{p1} = d_{min} = 59,94 \text{ мм};$$

$$d_{p2} = 59,94 + 0,108 = 60,048 \approx 60,05 \text{ мм};$$

$$d_{p3} = 60,05 + 0,198 = 60,248 \approx 60,25 \text{ мм};$$

$$d_{p4} = 60,25 + 0,346 = 60,596 \approx 60,6 \text{ мм};$$

$$d_{p5} = 60,6 + 3,42 = 64,02 \text{ мм}.$$

Граничний розмір:

$$d_{maxi} = d_{mini} + \delta_i;$$

$$d_{max1} = 59,94 + 0,03 = 59,97 \text{ мм};$$

$$d_{max2} = 60,05 + 0,046 = 60,096 \approx 60,1 \text{ мм};$$

$$d_{max3} = 60,25 + 0,074 = 60,324 \approx 60,32 \text{ мм};$$

$$d_{max4} = 60,6 + 0,3 = 60,9 \text{ мм};$$

$$d_{max5} = 64,02 + 2,8 = 66,82 \text{ мм}.$$

Граничні значення припуску:

$$2z_{mini}^{np} = d_{mini-1} - d_{mini};$$

$$2z_{min1}^{np} = 60,05 - 59,94 = 0,11 \text{ мм} = 110 \text{ мкм};$$

$$2z_{min2}^{np} = 60,25 - 60,05 = 0,20 \text{ мм} = 200 \text{ мкм};$$

$$2z_{min3}^{np} = 60,6 - 60,25 = 0,35 \text{ мм} = 350 \text{ мкм};$$

$$2z_{min4}^{np} = 64,02 - 60,6 = 3,42 \text{ мм} = 3420 \text{ мкм};$$

$$2z_{maxi}^{np} = d_{maxi-1} - d_{maxi};$$

$$2z_{max1}^{np} = 60,1 - 59,97 = 0,13 \text{ мм} = 130 \text{ мкм};$$

$$2z_{max2}^{np} = 60,32 - 60,1 = 0,22 \text{ мм} = 220 \text{ мкм};$$

$$2z_{max3}^{np} = 60,9 - 60,32 = 0,58 \text{ мм} = 580 \text{ мкм};$$

$$2z_{max4}^{np} = 66,82 - 60,9 = 5,92 \text{ мм} = 5920 \text{ мкм}.$$

Сумарний мінімальний припуск

$$2Z_{omin} = 3420 + 350 + 200 + 110 = 4080 \text{ мкм}.$$

Сумарний максимальний припуск

$$2Z_{omax} = 5920 + 580 + 220 + 130 = 6850 \text{ мкм}.$$

Перевірка розрахунків:

$$\begin{aligned}2Z_{\text{омаx}} - 2Z_{\text{оmin}} &= \delta D_3 - \delta D_д; \\6850 - 4080 &= 2800 - 30; \\2770 &= 2770.\end{aligned}$$

Загальний номінальний припуск:

$$\begin{aligned}2Z_{\text{оном}} &= 2Z_{\text{оmin}} + HD_3 - HD_д; \\2Z_{\text{оном}} &= 4080 + 1000 - 60 = 5020 \text{ мкм} = 5,02 \text{ мм}.\end{aligned}$$

Розмір заготовки

$$D_{\text{зном}} = D_д + 2Z_{\text{оном}} = 60 + 5,02 = 65,02 \approx 65,5 \text{ мм}.$$

Розмір на кресленні $\varnothing 65,5 \pm_{1,0}^{1,8}$.

Контрольні запитання

- 1 Дайте класифікацію припусків на механічну обробку.
- 2 Якими методами визначаються припуски на механічну обробку?
- 3 За якими формулами розраховується мінімальний припуск при розрахунково-аналітичному методі визначення припусків?
- 4 Укажіть послідовність визначення припусків та операційних розмірів при розрахунково-аналітичному методі.
- 5 Як визначається номінальний припуск на обробку зовнішніх та внутрішніх поверхонь?
- 6 Як графічно визначається розташування припусків, допусків та розмірів оброблюваних поверхонь при використанні методу пробних ходів та промірів та при обробці на налагоджених верстатах?

7 ОСНОВИ ТЕХНІЧНОГО НОРМУВАННЯ

7.1 Методи нормування та класифікації витрат робочого часу

Технічне нормування праці – сукупність методів та прийомів з виявлення резервів робочого часу та установа необхідної міри праці.

Методи нормування [8, 9]:

- а) технічний розрахунок за нормативами;
- б) порівняння та розрахунок за укрупненими типовими нормативами (одиничне та дрібносерійне виробництво);
- в) установа норм на основі вивчення витрат робочого часу (хронометраж).

Останній служить основою для розробки нормативів. Норми часу, визначені за аналітичним методом (1-й метод), називаються технічно обґрунтованими нормами, або технічними нормами.

Технічною нормою часу називається час, що встановлюється для виконання визначеної роботи (операції), виходячи із застосування прогресивних методів праці, повного використання виробничих можливостей (обладнання, площі).

Технічні норми часу служать основою для визначення потрібної кількості та завантаження обладнання, виробничої потужності ділянок та цехів, розрахунку основних показників продуктивності та заробітної плати, а також є основою оперативного (календарного) планування.

Витрати робочого часу протягом робочого дня (за винятком обідньої перерви) поділяються на нормовані й ненормовані витрати.

До нормованих витрат належать витрати, що необхідні для виконання заданої роботи.

До ненормованих витрат відносяться втрати часу через простої обладнання, пов'язані з відсутністю електроенергії, інструменту, заготовок, а також утрати часу з вини робітника (запізнення на роботу, залишення роботи).

Нормовані витрати робочого часу поділяються на:

- підготовчо-заклучний час $T_{n-з}$;
- оперативний час T_{on} ;
- час обслуговування робочого місця $T_{обс}$;
- час перерви на відпочинок і особисті потреби працівника $T_{відп}$.

Норма підготовчо-заклучного часу $T_{n-з}$ – це норма часу на підготовку робітників і засобів виробництва до виконання технологічної операції і приведення їх у первісний стан після її закінчення.

Підготовчо-заклучний час передбачає витрати часу на:

- отримання матеріалів, інструментів, пристроїв, технічної документації та наряду на роботу;

- ознайомлення з документацією, інструктаж з техніки безпеки;
- установку інструмента, пристроїв, налагодження верстата;
- зняття інструмента та пристроїв;
- здавання готової продукції, пристроїв, інструмента, документації та наряду.

Підготовчо-заклучний час повторюється з кожною партією оброблених деталей та не залежить від розміру партії.

Норма оперативного часу T_{on} – це норма часу на виконання технологічної операції, що складається із суми норм основного часу T_o і допоміжного часу T_δ , що не перекривається основним часом:

$$T_{on} = T_o + T_\delta.$$

Норма основного часу T_o – це норма часу на виконання операції або переходу при безпосередньому виготовленні деталі, тобто на зміну форми, розмірів, стану заготовки й т. п.

Основний час може бути ручним, машинно-ручним і машинним.

Основний час визначається за формулою (точіння, свердління, фрезерування)

$$T_o = \frac{L_p \cdot i}{S_{xв}} = \frac{L_p \cdot i}{n \cdot S} = \frac{L_p \cdot z}{n \cdot S \cdot t},$$

де L_p – робочий хід, $L_p = l + l_1 + l_2$, мм;

i – кількість ходів;

l – довжина оброблюваної поверхні, мм;

l_1 – величина врізання інструмента, мм;

l_2 – величина перебігу інструмента, мм;

$S_{xв}$ – хвилинна подача інструмента, мм/хв;

S – подача, мм/об;

n – частота обертання шпинделя або інструмента, хв⁻¹;

z – припуск на сторону, мм;

t – глибина різання на сторону, мм.

Елементи режимів різання визначаються розрахунком або за нормативами. Формули для визначання основного часу на операції механічної обробки наведені в додатку А [4].

Норма допоміжного часу T_δ – це норма часу, що витрачається на різні додаткові дії працівника, безпосередньо пов'язані з основною роботою (установка, закріплення й зняття заготовки, пуск і зупинка верстата, контрольні вимірювання, зміна режимів роботи верстата й т. п.).

Допоміжний час T_δ установлюється за таблицями нормативів [14].

Час обслуговування робочого місця $T_{обс}$ – частина штучного часу, що витрачається працівником на підтримку обладнання в працездатному стані і догляд за ним і робочим місцем.

Час на особисті потреби (відпочинок) $T_{відп}$ – частина штучного часу, що витрачається робітником на особисті потреби й додатковий відпочинок (при стомливих роботах). $T_{відп}$ визначається в процентах оперативного часу (не перевищує 2 % від тривалості робочого дня).

7.2 Структура норми часу

Норма часу – регламентований час виконання якогось об'єму робіт у визначених виробничих умовах одним або декількома виконавцями відповідної кваліфікації [2, 8, 9].

Норма часу встановлюється на технологічну операцію.

Технічно обґрунтована норма часу $T_{шт-к}$ складається з норми підготовчо-заклучного часу на партію оброблюваних деталей $T_{n-з}$ і норми штучного часу $T_{шт}$:

$$T_{шт-к} = T_{шт} + \frac{T_{n-з}}{n}.$$

Норма штучного часу $T_{шт}$ – це норма часу на виконання обсягу робіт, що дорівнює одиниці нормування:

$$T_{шт} = T_o + T_d + T_{обс} + T_{відп} = T_{оп} + T_{обс} + T_{відп}.$$

У норму штучного часу не включаються витрати часу на роботи, що можуть бути покриті машинним часом.

В умовах середньосерійного виробництва $T_{шт}$ визначається за формулою

$$T_{шт} = (T_o + T_d) \left(1 + \frac{k}{100}\right),$$

де k – процент оперативного часу на обслуговування робочого місця та відпочинок і особисті потреби.

Значення коефіцієнтів $a_{орг}$, $a_{відп}$, $b_{мех}$, k визначається за нормативами [14].

Норма часу на партію заготовок визначається за формулою

$$T_{пар} = T_{n-з} + T_{шт}n,$$

де n – кількість заготовок у партії.

Норма виробітку є величиною, оберненою нормі штучного часу, та є кількістю деталей, яка може бути вироблена робітником у одиницю часу (годину, зміну):

$$H_v = \frac{T_{zm}}{T_{шт}}$$

де T_{zm} – тривалість зміни, хв (год);

$T_{шт}$ – штучний час, хв (год).

В умовах одиничного та дрібносерійного виробництва штучний час визначається за укрупненими нормативами [12, 13]. Норма штучного часу визначається шляхом підсумовування часу на установлення та знімання деталі та неповного штучного часу на обробку поверхонь з урахуванням кількості робочих ходів за формулою

$$T_{шт} = T_{ДУ} + \sum T_{ншт} \cdot K_{ТШП} \cdot K_{ТШВ},$$

де $T_{ДУ}$ – допоміжний час на установку та зняття заготовки, хв;

$T_{ншт}$ – неповний штучний час, хв;

$K_{ТШП}$ – поправочний коефіцієнт до норми часу в залежності від кількості деталей у партії;

$K_{ТШВ}$ – поправочний коефіцієнт до норми часу в залежності від кількості верстатів, що обслуговуються.

Неповний штучний час включає основний час, який визначено на основі загальномашинобудівних нормативів з урахуванням технологічних факторів, що визначають режими різання [13]; допоміжний час, що пов'язаний з переходом; допоміжний час на зміну режимів роботи верстата та заміну інструмента; час на обслуговування робочого місця, перерв на відпочинок та особисті потреби.

Приклад. Виконати нормування токарної операції з чистової обробки бочки прокатного валка $\varnothing 1250_{-1,25}$ мм, $L = 2500$ мм. Довжина деталі $L_d = 6750$ мм. Матеріал деталі – сталь 40ХН, НВ 275. Маса деталі – 22 000 кг. Припуск – 3 мм на сторону. Спосіб кріплення – в центрах з кріпленням кулачками планшайби. Верстат мод. 1А665. Різальний інструмент – різець прохідний Т15К6, $\varphi = 60^\circ$. Кількість деталей у партії – 7 шт.

Підготовчо-заклучний час визначаємо за нормативами [12, 13]. За картою 2 визначаємо $T_{п-з} = 11$ хв.

Час на встановлення, переустановлення та знімання деталі визначаємо за картою 3 – $T_{ду} = 49$ хв.

Неповний штучний час: точити бочку валка $\varnothing 1250_{-1,25}$ мм, $L = 2500$ мм; за картою 22 нормативів неповний штучний час на напівчистому обробку складає:

$$T_{нш} = 7,0 \times \frac{2500}{100} \times 0,57 = 99,75 \text{ хв.}$$

Неповний штучний час визначений при наступних режимах різання:
 $t = 3 \text{ мм}$, $s = 0,95 \text{ мм/об}$, $n = 29,5 \text{ хв}^{-1}$, $v = 116 \text{ м/хв}$.

Штучний час складає

$$T_{ш} = 49 + 99,75 = 148,75 \text{ хв.}$$

За картою 1 поправний коефіцієнт у залежності від партії деталей
 $K_{Тшп} = 0,95$.

$$T_{ш} = 148,75 \times 0,95 = 141,3 \text{ хв.}$$

Штучно-калькуляційний час складає

$$T_{ш-к} = 141,3 + \frac{11}{7} = 142,9 \text{ хв.}$$

Контрольні запитання

- 1 Які методи нормування використовують у машинобудуванні?
- 2 Дайте визначення підготовчо-заключного часу, оперативного часу, часу на обслуговування робочого місця та на відпочинок і особисті потреби.
- 3 Як визначається основний час на механічну обробку заготовок?
- 4 Як визначається норма штучного часу в умовах середньосерійного та великосерійного виробництва?
- 5 Як визначається норма штучного часу в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва?

8 ПРОЕКТУВАННЯ ОДИНИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

8.1 Класифікація технологічних процесів

Згідно з ЄСТД (ГОСТ 3.1109–82) розрізняють три види технологічних процесів (ТП): одиничний, типовий і груповий. Кожні ТП розробляють при підготовці виробництва виробів, конструкції яких відпрацьовані на технологічність. Технологічні процеси розробляють для виготовлення нового виробу або вдосконалення того, що випускається [8, 9, 15].

Одиничний ТП – це ТП виготовлення або ремонту виробу одного найменування, типорозміру й виконання незалежно від типу виробництва. Одиничні ТП розробляють для виготовлення оригінальних виробів (деталей, складальних одиниць), що не мають загальних конструктивних і технологічних ознак з виробами, раніше виготовленими на підприємстві.

Типовий ТП – це ТП виготовлення групи виробів із загальними конструктивними й технологічними ознаками, що характеризується спільністю змісту й послідовності виконання операцій і переходів. Типовий ТП використовують як інформаційну основу при створенні робочих ТП і як робочий ТП за наявності всієї необхідної інформації для виробництва виробів. На базі цих ТП розробляють стандарти підприємств (СТП) для типових технологічних процесів.

Груповий ТП – це ТП виготовлення групи виробів з різними конструктивними, але загальними технологічними ознаками; це процес обробки заготовок різної конфігурації, що складається з комплексу групових технологічних операцій, що виконуються на спеціалізованих робочих місцях в послідовності технологічного маршруту виготовлення певної групи виробів. Групові ТП розробляють для всіх типів виробництв тільки на рівні підприємства.

Типові й групові ТП є уніфікованими ТП, що відносяться до групи виробів із загальними конструктивними і (або) технологічними ознаками. Ці ТП широко застосовують у дрібносерійному, серійному і рідше у великосерійному виробництвах.

За класифікацією ЄСТД кожний з розглянутих ТП може бути перспективним або робочим.

Перспективним ТП називають технологічний процес, відповідний сучасним досягненням науки й техніки, методи й засоби якого повністю або частково належить освоїти на підприємстві.

Робочий ТП – це ТП, виконуваний за робочою технологічною і (або) конструкторською документацією. Їх розробляють на підприємствах для виготовлення різних виробів. Робочі ТП можуть бути проектними, стандартними й тимчасовими.

Проектний ТП – це ТП, виконуваний за попереднім проектом технологічної документації.

Стандартний ТП – це встановлений стандартом ТП, який виконують за робочою технологічною і (або) конструкторською документацією, оформленою стандартом (ГСТ, СТП) і відноситься до конкретного устаткування, режимів обробки й технологічного оснащення.

Тимчасовий ТП – це ТП, що використовується на підприємстві протягом обмеженого періоду часу через відсутність необхідного устаткування або у зв'язку з аварією до заміни на сучасніший і більш економічний.

При створенні автоматичних ліній, гнучких автоматизованих виробництв і в інших випадках розробляють *комплексні ТП*, до складу яких окрім основних механічних операцій включають операції переміщення, термічної обробки, контролю й очищення оброблюваних заготовок та ін.

ТП, що розробляється, повинен забезпечувати підвищення продуктивності праці та якості виробу, зниження трудових і матеріальних витрат, скорочення шкідливих дій на навколишнє середовище. ТП повинен відповідати вимогам техніки безпеки й промислової санітарії, встановленим системою стандартів безпеки праці (ССБП), інструкціями та іншими нормативними документами. Основою для розробки ТП зазвичай слугують типові або групові ТП, а при їх відсутності – діючі одиничні ТП виготовлення аналогічних виробів.

8.2 Проектування одиничних технологічних процесів

Початкова інформація для проектування технологічних процесів. Початкову інформацію для розробки ТП підрозділяють на базову, керівну й довідкову [8, 18].

Базова інформація – це дані, що містяться в кресленнях і технічних умовах на виготовлення і приймання виробу, а також об'єм програмного завдання й термін його виконання (по етапах).

Керівна інформація містить закріплені державними й галузевими стандартами вимоги до технологічних процесів і методів управління ними, до устаткування й оснащення, документацію на діючі одиничні, типові й групові ТП, виробничі інструкції, документацію з техніки безпеки й промислової санітарії, матеріали з вибору технологічних нормативів (режимів обробки, припусків, норм витрати матеріалів) та ін.

Довідкова інформація складається з описів прогресивних методів виготовлення, каталогів, паспортів, довідників, альбомів компоновок засобів технологічного оснащення, планувань виробничих ділянок та ін.

При проектуванні ТП для діючих підприємств технолог повинен бути знайомий із структурою підприємства, прийнятою системою планування, можливостями заготовчих і допоміжних цехів. Технолог повинен враховувати загальну виробничу обстановку (склад і ступінь завантаження устат-

кування, можливості комплектування інструментом і пристроями, забезпеченість підприємства кваліфікованою робочою силою та ін.).

Техніко-економічні принципи проектування технологічних процесів. *Мета проектування ТП механічної обробки* – докладний опис процесів виготовлення деталі з необхідними техніко-економічними розрахунками і обґрунтуваннями прийнятого варіанту. В основі розробки ТП зазвичай полягають два принципи – технічний і економічний.

Відповідно до *технічного принципу* спроектований ТП повинен повністю забезпечити дотримання всіх вимог робочого креслення й технічних умов на виготовлення даного виробу. ТП повинен виконуватися з якнайповнішим і правильнішим використанням усіх технічних можливостей устаткування, інструментів та інших засобів технологічного оснащення.

Відповідно до *економічного принципу* виробу повинні бути виготовлені з мінімальними витратами праці й витратами виробництва при найменшій витраті часу і найменшій собівартості виробу. Ефективність і рентабельність проектованого ТП виявляють по всіх елементах, з яких ТП складається, або визначають розрахунком за укрупненими показниками.

Оптимізація ТП полягає в тому, що у встановлений проміжок часу необхідно забезпечити випуск необхідної кількості виробів заданої якості при можливій мінімальній собівартості їх виготовлення. У простому випадку оптимізують основні лімітовані операції, в складніших випадках – всі операції. У якості цільових функцій при оптимізації найчастіше приймають досягнення мінімальної собівартості виробу, рідше – досягнення найбільшої продуктивності або найвищої якості та ін.

З наявних варіантів технологічних процесів виготовлення одного й того ж виробу перевагу віддають найбільш продуктивному й рентабельному. При рівній продуктивності варіантів, що зіставляються, вибирають найбільш рентабельний, а при рівній рентабельності – найбільш продуктивний. У виняткових випадках (терміновий випуск важливої продукції, ліквідація виникаючих «вузьких місць» виробництва й т. п.) в рамках даного підприємства на певний період за основу може бути прийнятий найбільш продуктивний (але менш рентабельний) варіант ТП. Тоді для виготовлення виробів складають тимчасовий робочий одиничний технологічний процес.

Послідовність технологічного проектування. Розробку технологічних процесів починають з вивчення й технологічного контролю початкових даних (креслень, описів, технічних умов та іншої конструкторської документації), а також програмних завдань на випуск виробу. За цими матеріалами знайомляться з призначенням і конструкцією виробу, його технічними характеристиками, вимогами до якості, термінами його виготовлення й умовами експлуатації.

Подальша робота складається з наступних основних етапів [8]:

1 Визначають можливий тип виробництва (одиничне, серійне або масове).

2 З урахуванням встановленого типу виробництва аналізують технологічність конструкції виробу й розробляють заходи щодо її підвищен-

ня. Відпрацювання виробу на технологічність вважають обов'язковим етапом технологічного проектування.

3 Вибирають, а потім підтверджують відповідними розрахунками найбільш технологічний і економічний метод отримання заготовки.

4 Підбирають ефективні способи й послідовність обробки поверхонь, визначають технологічні бази.

5 Складають технологічний маршрут обробки деталі. Для кожної операції заздалегідь підбирають устаткування й технологічне оснащення, визначають величину припусків на оброблювані поверхні.

6 Уточнюють структуру й ступінь концентрації операцій: встановлюють зміст і послідовність виконання всіх переходів.

7 Для кожної операції остаточно вибирають ріжучий, допоміжний, контрольно-вимірвальний інструмент і пристрої.

8 Встановлюють необхідні режими різання й настроювальні розміри, а також розраховують діючі сили й моменти сил різання.

9 Перевіряють відповідність підбраного устаткування за потужністю приводів, міцністю його механізмів і ступенем завантаження.

10 Виконують аналітичні розрахунки прогнозованої точності обробки й шорсткості функціональних поверхонь.

11 Проводять технічне нормування операцій, встановлюють кваліфікацію виконавців, визначають економічність і ефективність спроектованого технологічного процесу.

12 Розробляють комплект необхідної технічної документації.

У процесі розробки технологічних процесів для конкретних деталей об'єм всього комплексу проектних робіт і зміст окремих етапів можуть уточнюватися й змінюватися. Декілька взаємопов'язаних етапів можуть об'єднуватися в один загальний, може змінюватися послідовність їх виконання.

8.2.1 Визначення типу виробництва

Тип виробництва можна визначити за коефіцієнтом закріплення операцій K_{30} (див. п.1.1). Для масового виробництва $K_{30} = 1$, для великосерійного виробництва $1 < K_{30} \leq 10$, для середньосерійного $10 < K_{30} \leq 20$ і дрібносерійного $20 < K_{30} \leq 40$, для одиничного виробництва $K_{30} > 40$.

8.2.2 Відпрацювання конструкції виробу на технологічність і технологічний контроль креслення

Будь-який технологічний процес розробляють при підготовці виробництва виробів, конструкції яких відпрацьовані на технологічність (ГОСТ 14.301–83*). Відпрацювання конструкції виробу на технологічність

направлене на підвищення продуктивності праці, зниження витрат і скорочення часу на проектування, технологічну підготовку виробництва, виготовлення, технічне обслуговування й ремонт виробу при забезпеченні необхідної якості виробу (ГОСТ 14.201–83*).

Показники технологічності використовують для технологічного контролю креслень, технічних умов та іншої конструкторської документації для конкретних виробничих умов – типу виробництва й прийнятої форми організації праці.

Мета технологічного контролю – поліпшити технологічність конструкції виробів, наприклад, до мінімуму скоротити розміри оброблюваних поверхонь; для багатоінструментальної обробки на інтенсивних режимах різання підвищити жорсткість конструкції; для скорочення номенклатури вживаного інструменту уніфікувати розміри пазів, канавок, фасок, перехідних поверхонь, отворів та інших елементів; забезпечити надійне й зручне базування заготовок з можливістю поєднання конструкторських, технологічних і вимірювальних баз та ін. Одночасно перевіряють достатність видів проєкцій, розрізів і перетинів на робочих кресленнях, а також достатність і правильність проставлення розмірів. Аналізують обґрунтованість вимог до точності розмірів і шорсткості функціональних та інших поверхонь.

8.2.3 Вибір заготовок для деталей машин

Заготовка – предмет виробництва, з якого зміною форми, розмірів, шорсткості поверхонь і властивостей матеріалу виготовляють деталь або нероз'ємну складальну одиницю (ГОСТ 3.1109–82*).

Початковою заготовкою називається заготовка перед першою технологічною операцією.

Один з основних напрямів розвитку технології механічної обробки – використання заготовок з такими конструктивними формами, які дозволяють застосовувати найбільш раціональні й економічні способи їх обробки на металорізальних верстатах, тобто способи, що забезпечують найвищу продуктивність і найменші відходи металу.

Вибрати заготовку – це означає встановити її раціональну форму й розміри, допуски й припуски на обробку, спосіб отримання, а також ряд інших параметрів, обумовлених додатковими технічними вимогами й умовами.

У потоково-масовому й серійному виробництві прагнуть наблизити конфігурацію заготовки, точність її розмірів і якість поверхонь до готової деталі, що різко скорочує об'єм механічної обробки; коефіцієнт використання металу $K_{\text{ВМ}}$ досягає 0,7...0,8 і більше. В умовах дрібносерійного й одиничного виробництва вимоги до конфігурації заготовки менш жорсткі, а бажана величина $K_{\text{ВМ}} > 0,6$.

У машинобудуванні в якості заготовок найчастіше вживають відливки, поковки, заготовки, що одержуються безпосередньо з прокату та із застосуванням зварювання, зварні комбіновані, металокерамічні та ін.

Спосіб отримання заготовки визначається наступними чинниками:

- технологічною характеристикою матеріалу, його фізико-механічними й фізико-хімічними властивостями, здатністю до термообробки, пластичного деформування, його ливарною здатністю та ін.;
- конструктивними формами й розмірами деталі (і заготовки);
- вимогами до точності виконання розмірів заготовки, до шорсткості поверхонь і до якості поверхневих шарів;
- обсягом програми випуску і термінами її виконання;
- технічними можливостями заготовчих цехів, зокрема термінами виготовлення технологічного оснащення (штампів, моделей, прес-форм та ін.);
- наявністю устаткування й бажаним ступенем механізації і автоматизації процесів механічної обробки;
- міркуваннями економічного характеру та іншими чинниками.

Вважають, що вибраний спосіб повинен забезпечити отримання такої заготовки, яка дозволила б виготовити деталь (включаючи витрати на матеріал, повний цикл механічної, термічної та іншої обробки, а також усі інші витрати) з найменшою собівартістю.

8.2.4 Вибір способів обробки поверхонь і призначення технологічних баз

Кожна деталь може бути представлена у вигляді поєднання елементарних поверхонь, таких як площина, циліндр, конус, тор, а також складніших фігурних поверхонь, наприклад: гвинтових, шліцьових, зубчатих та ін. У результаті багаторічної практики встановлені найбільш раціональні (типові) способи механічної обробки для кожної елементарної поверхні. На вибір того або іншого способу впливають конфігурація, габаритні розміри, матеріал і маса деталі, об'єм випуску, прийнятий тип і форма організації виробництва, характеристики устаткування й оснащення, наявних у розпорядженні, та ін.

До головних чинників, що визначають вибір способу обробки, відносять також його точність, продуктивність і рентабельність. Наприклад, плоску поверхню невеликої площі на деталі з чавуну можна одержати циліндричним (зустрічним і попутним) і торцевим фрезеруванням, струганням, точінням і протягуванням, плоским (периферійним або торцевим) і стрічковим шліфуванням; шабренням і т. д. Якість поверхні буде приблизно однаковою.

Вибір способу обробки тісно пов'язаний і із стадією (етапами) технологічного процесу виготовлення деталі. Обдирна, попередня (чорнова), проміжна (чистова) й остаточна (опоряджувальна, тонка) обробка однієї і

тієї ж поверхні частіше виконується різними способами, наприклад, чорнове і чистове зенкерування отвору, а потім його розгортання або шліфування (після гартування деталі). На практиці при розробці технологічних процесів виготовлення конкретних деталей, при виборі способів обробки, окрім викладених міркувань, керуються рекомендаціями з середньої економічної точності різних способів обробки, представленими у вигляді таблиць у довідниках та іншій літературі з машинобудування.

Паралельно з вибором способу обробки конкретної поверхні вирішують питання базування й закріплення (установки) заготовки в пристрої або на верстаті.

Вибір технологічних баз – це важливий етап розробки будь-якого технологічного процесу. Початковими даними в цьому випадку є креслення і технічні умови на виготовлення деталі й заготовки. Слід чітко представляти загальний план обробки заготовки.

У залежності від конструкції оброблюваної деталі можливі різні варіанти базування, наприклад:

- прості деталі повністю обробляють за одну або декілька операцій з одного установа на автоматах, агрегатних верстатах або в пристроях-супутниках на автоматичних лініях. Заготовку часто базують по необроблених поверхнях;

- деталі обробляють за декілька установів (можливо на різних верстатах). При виконанні більшої частини операцій дотримуються принципу постійності баз, тобто заготовку базують на одні й ті ж заздалегідь оброблені поверхні. Забезпечується однотипність пристроїв і схем установки;

- складні деталі підвищеної точності обробляють з дотриманням принципу постійності баз. Перед завершальним етапом технологічного процесу, тобто опоряджувальною обробкою, поверхні, що використовуються як бази, піддають повторній (опоряджувальній) обробці;

- принципу постійності баз не дотримуються. Заготовку базують на різні послідовно змінювані оброблені поверхні. Для окремих операцій застосовують одночасне базування по оброблених і необроблених поверхнях. Такий варіант обробки вимагає підвищеної уваги й призводить до необхідності перерахунку конструкторських розмірів. Інакше недотримання принципу постійності баз призводить до виникнення або збільшення похибок розташування поверхні, що знижують точність обробки;

- обробка деталей з послідовною (багатократною) зміною одних і тих же баз (наприклад, при послідовному чорновому й чистовому шліфуванні на магнітній плиті з послідовним перевертанням заготовки).

В умовах одиничного й дрібносерійного виробництва положення заготовки на верстаті визначають за допомогою розмітки й вивіряння, а для закріплення широко застосовують ручні механічні затискачі.

У серійному й масовому виробництві в основному користуються наперед встановленими технологічними базами. Поверхню, щодо якої ведеться налагодження, особливо ефективно використовують як базу при ба-

гатоінструментальній обробці на верстатах-автоматах і напівавтоматах, на автоматичних лініях і верстатах з ЧПК.

Для закріплення заготовок тут частіше застосовують пневматичні, гідравлічні та інші високопродуктивні затискні пристрої, що забезпечують надійне закріплення заготовок з постійними силами.

У всіх випадках прагнуть сумістити технологічні бази з конструкторськими й вимірювальними, що дозволяє виключити похибку базування й виконувати розміри з використанням всього поля допуску, встановленого конструктором.

Технологічні бази призначають на стадії опрацювання варіантів виконання технологічної операції, тобто на етапі попереднього розгляду й порівняння між собою можливих способів обробки поверхонь заготовки, а також орієнтовного вибору устаткування й оснащення, необхідних для реалізації цих способів. При виборі баз враховують зручність установки й зняття заготовки, зручність і надійність її закріплення, можливість підведення різальних інструментів і МОР з різних сторін заготовки та ін. З урахуванням вибраних баз формують і вимоги до точності й шорсткості поверхонь. Вибираючи бази, мають на увазі можливість їх реставрації у разі пошкодження.

8.2.5 Складання технологічного маршруту обробки

Технологічний маршрут — послідовність (план або порядок) обробки виробу. Розглядають маршрут обробки окремих поверхонь деталі й маршрут виготовлення деталі (або обробки заготовки) в цілому.

Початковими даними для складання маршрутів обробки окремих поверхонь служать креслення й технічні вимоги до деталей і заготовок, а також відомості про виробничо-технічні можливості й організаційні умови. За заданими квалітетом точності й шорсткості даної поверхні і з урахуванням розміру, маси й форми деталі вибирають можливі методи остаточної обробки. Знаючи вид заготовки, таким же чином вибирають перший початковий метод маршруту. Базуючись на завершувальному й першому методах обробки, встановлюють проміжні. При цьому дотримуються наступного правила: кожен подальший спосіб обробки повинен бути точнішим за попередній. Це означає, що кожна чергова операція, перехід або робочий хід повинні виконуватися з меншим технологічним допуском, забезпечувати підвищення якості й зниження шорсткості оброблюваної поверхні.

При визначенні кількості проміжних операцій виходять з технічних можливостей методів обробки, що вибираються, а також з економічної точності й якості поверхонь, що досягаються. Технологічний допуск на проміжний розмір і якість поверхні, одержані на попередньому етапі обробки, повинні знаходитися в межах, при яких можна використовувати намічений подальший метод обробки (рекомендується технологічний допуск прийма-

ти в 2–4 рази меншим, ніж припуск на подальшу операцію). Не можна, наприклад, після свердління проводити чистове розгортання: потрібно спочатку перед чистовим розгортанням виконати зенкерування або чорнове розгортання й т. д.

Число можливих варіантів маршруту обробки даної поверхні може бути значним. При виборі варіанту враховують деякі обмеження: необхідність обробки даної поверхні спільно з іншою (наприклад, розточування посадочних отворів у корпусі й кришці корпусу підшипника або редуктора); низьку жорсткість заготовки, що перешкоджає застосуванню високопродуктивних методів; необхідність обробки поверхні з одним установом за декілька послідовних переходів у цілях скорочення похибок розташування поверхонь та ін. З наявних варіантів прагнуть вибрати маршрут, що забезпечує найменшу трудомісткість і мінімальну сумарну собівартість обробки. Оптимізацію за цими параметрами виконують, орієнтуючись на типові маршрути обробки основних поверхонь, що рекомендуються в довідковій і науково-технічній літературі.

Знати маршрут обробки окремих поверхонь слід також для того, щоб мати можливість розрахувати проміжні й загальні припуски на обробку і проміжні розміри заготовки по технологічних переходах.

Складніше завдання – складання маршруту виготовлення деталі. Головні завдання при цьому – визначення змісту кожної технологічної операції та складання загального плану (послідовності) виконання. Одночасно вибирають типи устаткування, призначають припуски на обробку та ін. Від логічності порядку виконання операцій багато в чому залежать і якість, і продуктивність, і економічність обробки деталі.

У загальному випадку *послідовність технологічних операцій* встановлюють, користуючись наступними методичними рекомендаціями:

- спочатку обробляють поверхні, що служать надалі технологічними базами;
- потім обробляють ті поверхні, з яких знімається найбільший шар металу, що дозволяє своєчасно виявити й усунути внутрішні дефекти, не допускаючи подальшої обробки бракованих заготовок;
- обробку решти поверхонь ведуть у послідовності, зворотній ступеню їх точності;
- закінчують обробку тими поверхнями, які є найбільш точними і найбільш важливими для нормального функціонування деталі;
- обробку легкопошкоджуваних поверхонь (наприклад, зовнішніх різей) рекомендується виносити в кінець маршруту;
- допоміжні операції (свердління дрібних отворів, прорізання канавок і галтелей, зняття фасок, зачистка задирок і т. п.) виконують на стадії чистової обробки;
- опоряджувальні операції, такі як шліфування, хонінгування, притирання та ін., виконують в останню чергу, зазвичай після термічної, хіміко-термічної та інших немеханічних операцій, що поділяють, як правило, весь технологічний процес на частини;

- технічний контроль проводять після тих операцій, на яких можливо підвищення браку, після складних дорогих операцій, після закінченого циклу, а також після закінчення виготовлення деталі.

У маршруті обробки точних деталей розрізняють чорнову, чистову й опоряджувальну стадії. На першій знімають основну масу металу у вигляді припусків і напуску. Обробку ведуть працівники невисокої кваліфікації на верстатах зниженої точності. Похибки обробки виникають через значні деформації технологічної системи, викликані великими силами закріплення заготовки, її інтенсивним розігріванням, а також через викривлення заготовки унаслідок перерозподілу внутрішніх напружень. Під час чистової обробки значна частина похибок усувається. Групуючи обробку за відміченими стадіями, збільшують розрив у часі між чорною і опоряджувальною обробкою і дозволяють більш повно виявитися деформаціям до їх усунення на останній стадії обробки.

Викладена послідовність більшою мірою підходить для масового виробництва, проте суперечить принципу концентрації операцій, коли чорнову й чистову обробку жорстких заготовок деталей середньої точності успішно виконують з одного установа (наприклад, обробка на автоматах і напівавтоматах, револьверних і агрегатних верстатах).

Розробляючи маршрут обробки деталі, спочатку намічають (або уточнюють) технологічні операції (без докладного опрацювання їх змісту). Заздалегідь об'єднують ті переходи на даній стадії обробки, які можуть бути виконані на одному верстаті. У масовому виробництві зміст операцій визначають з умови, щоб їх тривалість була рівною або кратною такту випуску виробу. У важкому машинобудуванні прагнуть скоротити число перестановок заготовок з верстата на верстат, що також позначається на зміні операцій.

При складанні маршруту обробки заготовки по окремих операціях встановлюють також тип верстатів та іншого технологічного устаткування, їх характеристики, розміри й моделі уточнюють і коректують при детальному опрацюванні технологічних операцій.

Кожного разу при розробці технологічного маршруту принципово правильно орієнтуватися на типові технологічні процеси обробки деталей даного класу, розроблені в різних галузях машинобудування.

Підсумки технологічного проектування по даному етапу (перелік і зміст операцій, тип устаткування й види оснащення, норми часу та ін.) заносять в маршрутні карти (ГОСТ 3.1118–82), карти технологічного процесу (ГОСТ 3.1404–86) і в інші технологічні документи у відповідності до ГОСТ 3.1102–81 «ЄСТД. Комплектність документів залежно від типу виробництва».

8.2.6 Призначення припусків і уточнення креслення заготовки

Після завершення роботи над проектом технологічного маршруту обробки деталі з'являється можливість точніше встановити величину проміжних і загальних припусків на всі оброблювані поверхні початкової заготовки.

Якщо деталі виготовляють серійно або масово, а їх функціональні поверхні обробляють у декілька технологічних операцій, переходів або робочих ходів (зазвичай при виконанні розмірів за 10, 9, 8-м і точнішими квалітетами та з вимогами до шорсткості $Ra < 3,2 \dots 1,6$ мкм), проміжні й загальні припуски на обробку рекомендується призначити, користуючись розрахунково-аналітичним методом [5].

При одиничному й дрібносерійному виробництві простих деталей з розмірами за 11, 12-м і грубішими квалітетами точності і з шорсткістю поверхонь $Ra > 6,3$ мкм (зазвичай досягаються одноразовою обробкою) технологічні припуски на обробку поверхонь частіше призначають за таблицями, тобто користуючись досвідно-статистичним способом [10].

Встановивши тим або іншим способом величину загальних номінальних припусків на всі оброблювані поверхні, уточнюють креслення початкової заготовки. Корекції в основному підлягають значення номінальних розмірів і розрахункова маса.

8.2.7 Проектування технологічних операцій

Побудова технологічних операцій механічної обробки є ключовим етапом створення всього технологічного процесу, від якого залежать і точність, і якість, і економічність обробки. У процесі проектування встановлюють степінь концентрації або диференціацію операцій та їх структуру.

Концентрацією (укрупненням) операцій називають поєднання декількох простих технологічних переходів в одну складну операцію. Технологічний процес, побудований за принципом концентрації операцій, складається з невеликого числа складних багатоперехідних операцій.

Диференціацією (роздробленням) операції називають побудову операцій з невеликого числа (зазвичай 1–2) простих технологічних переходів. Технологічний процес, побудований за принципом диференціації операцій, складається з великої кількості простих операцій.

Концентрація дозволяє об'єднати в одній операції один або декілька попередніх (чорнових) і остаточних (чистових) переходів, замінити декілька установів позиціями і простих одноінструментальних переходів складними з багатоінструментальною (багатолезовою) обробкою відразу декількох поверхонь. Обробка з одного установка забезпечує підвищення точності розташування поверхонь. Багатоінструментальна обробка разом зі скоро-

ченням кількості установів сприяє скороченню основного й допоміжного часу, а також часу зберігання заготовок на проміжних складах. Скорочується загальна кількість операцій і спрощується календарне планування. Одночасно підвищуються вимоги до точності й технологічних можливостей верстатів, а також до кваліфікації робітників. Концентровані операції проектують для умов одиничного й серійного виробництва, для багатопозиційних верстатів і верстатів з ЧПК. Такі операції поширені на підприємствах важкого машинобудування.

Диференціація технологічних операцій, що частіше вживається у великосерійному й масовому виробництві, дозволяє розділити обробку на чорнову, що виконується на звичайних високопродуктивних верстатах робітниками низької кваліфікації, і чистову, таку, що вимагає високої кваліфікації робітників і високоточних верстатів. В умовах масового виробництва диференціація операцій дозволяє виконувати всі операції технологічного процесу в єдиному ритмі на простих вузькоспеціалізованих верстатах, пов'язаних конвеєром або вбудованих в автоматичну лінію.

При проектуванні конкретної операції уточнюють її зміст, встановлюють послідовність і можливе поєднання переходів, остаточно вибирають інструмент, устаткування й пристрої (за відсутності тих, що задовольняють вимогам, складають завдання на їх конструювання), призначають режими різання, встановлюють настроювальні розміри, викреслюють схему налашки верстата, визначають норму часу й норму вироблення.

Опрацьовуючи можливі варіанти побудови операцій, прагнуть домогтися найбільшої продуктивності й економічності. У цьому аспекті найголовнішим завданням є скорочення оперативного часу $t_{оп} = t_0 + t_{д}$. Зменшити основний час t_0 можна завдяки використанню високопродуктивних режимів різання й різальних інструментів, скороченню числа переходів і робочих ходів та ін.

Зменшення допоміжного часу $t_{д}$ досягають скороченням часу установки заготовки й знімання її з верстата, часу управління верстатом, часу індексації на багатопозиційних верстатах, часу на зміну інструменту, на контрольні вимірювання й часу на виконання інших допоміжних переходів. Прагнуть скоротити час холостих ходів, застосовувати пристрої зі швидкодіючими затискними пристроями.

Зазвичай степінь концентрації операцій визначають при розробці схеми її виконання (структури). Прагнуть максимально сумістити в часі виконання технологічних і допоміжних переходів, домагаючись при цьому повного або часткового поєднання елементів основного й допоміжного часу і тим самим скорочення загальної трудомісткості операції.

Схеми технологічних операцій (таблиця 8.1) визначаються [2, 9]:

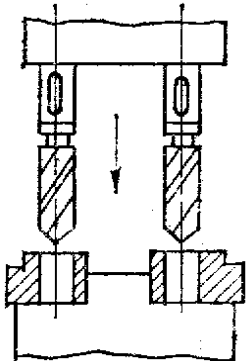
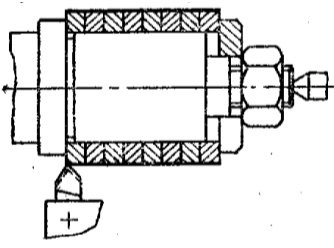
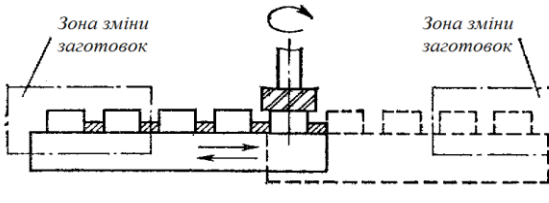
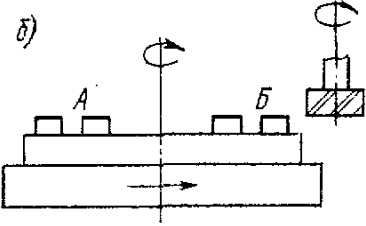
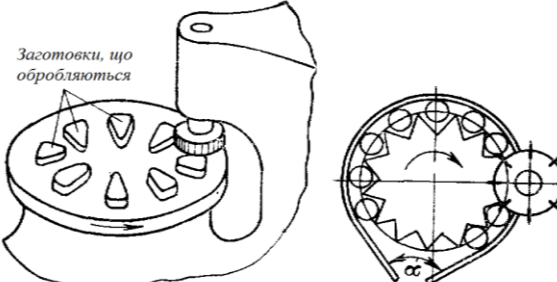
- кількістю заготовок, що одночасно встановлюються в пристрій або на верстат: одно- і багатомісна обробка;
- кількістю інструментів, що використовуються при виконанні операції: одно- або багатоінструментальна обробка;

– послідовністю роботи інструментів при виконанні операції: послідовна, паралельна й паралельно-послідовна обробка.

Таблиця 8.1 – Структура технологічних операцій

Назва	Схема обробки	Визначення часу
Одномісна послідовна обробка одним інструментом		$T_o = \sum_{i=1}^n T_{o_i}$ $T_d = T_y + T_{пер} + T_{вим}$
декількома змінюваними інструментами		$T_o = \sum_{i=1}^n T_{o_i}$ $T_d = T_y + T_{пер} + T_{вим}$
Одномісна паралельна обробка одноінструментальною обробкою фасонними інструментами		$T_o = T_{o_i}$ $T_d = T_y + T_{пер} + T_{вим}$
наборами інструментів		$T_o = T_{o_i}$ $T_d = T_y + T_{пер} + T_{вим}$
Багатоінструментальна обробка		$T_o = T_{o_i}$ $T_d = T_y + T_{пер} + T_{вим}$
Одномісна паралельно-послідовна обробка		$T_o = T_{o_i}$ $T_d = T_y + T_{пер} + T_{вим}$

Продовження таблиці 8.1

Назва	Схема обробки	Визначення часу
Багатомісна паралельна багатоінструментальна обробка з одночасною установкою заготовок		$T_o = \frac{T_{oi}}{z}$ $T_d = \frac{T_y + T_{пер} + T_{вим}}{z}$
Багатомісна послідовна обробка з одночасною установкою заготовок		$T_o = \frac{\sum_{i=1}^n T_{oi}}{z}$ $T_d = \frac{T_y + T_{пер} + T_{вим}}{z}$
Багатомісна послідовна обробка з роздільною установкою заготовок		$T_o = \sum_{i=1}^n T_{oi}$ $T_d = T_{уст}$
Багатомісна паралельно-послідовна обробка з роздільною установкою заготовок		$T_o = \frac{T_{oi}}{z}$ $T_d = \frac{T_{пер}}{z}$
Багатомісна паралельно-послідовна обробка з безперервною установкою та зміною оброблюваних заготовок		$T_o = \frac{T_{обстмоя}}{z}$ $T_d = 0$

На ступінь концентрації операції впливають габаритні розміри й маса заготовок, їх конфігурація і взаємне розташування оброблюваних поверхонь, розміщення інструментів у зоні обробки й можливість видалення з неї стружки, величина проміжних припусків та ін. Недостатня жорсткість заготовки може служити причиною відмови від паралельної її

обробки декількома інструментами. Обробку з високою точністю і малою шорсткістю поверхонь часто виділяють у самостійну операцію.

Максимальна концентрація операцій досягається при обробці заготовок на автоматичних лініях. Тут можуть паралельно-послідовно обробляти заготовку декілька сотень інструментів.

При обробці важких великогабаритних заготовок в умовах одного й дрібносерійного виробництва прагнуть скоротити допоміжний час завдяки зменшенню числа перестановок, вивірянь і закріплень (відкріплення) заготовки й інструментів, а також використанню засобів механізації для транспортування заготовок та ін. При обробці таких заготовок на простих і багатоопераційних верстатах з програмним керуванням штучний час скорочується у зв'язку з виключенням пробних ходів, проміжних промірів, зменшенням довжин урізування й перебігів інструментів, через автоматичну їх зміну та з інших причин.

Визначивши структуру технологічної операції, остаточно вибирають устаткування, інструмент та інше технологічне оснащення, користуючись при цьому відомостями з паспортів, каталогів, довідників та іншою інформацією. Потім розраховують настроювальні технологічні розміри, режими різання, точність і якість оброблюваних поверхонь, сили різання та їх моменти. Прийняті режими різання повинні відтворюватися кінематикою верстата й повинні забезпечувати узгоджену роботу всіх інструментів.

Далі розробляють *схему технологічного налагодження устаткування* – схему установаження заготовки, розміщення інструменту та іншого технологічного оснащення в робочій зоні верстата. Складаються налагоджувальні карти із зазначенням змінних зубчатих коліс, копирів, упорів та інших елементів наладки. Потім розраховують штучний час і собівартість операції і за наявності декількох можливих варіантів її виконання вибирають найбільш продуктивний і економічний. Одночасно складають завдання на проектування спеціального інструменту, верстатних і контрольних пристроїв.

Проектування технологічної операції закінчують оформленням всіх необхідних документів, відповідних вимогам діючих стандартів ЄСТД, обов'язковими є операційна карта або карта технологічного процесу (ГОСТ 3.1404–86), а також карта ескізів (ГОСТ 3.1105–84).

8.2.8 Вибір устаткування й пристроїв

Тип устаткування (верстата) і верстатного пристрою остаточно встановлюють при проектуванні операції. Вони повинні забезпечувати: задані точність обробки, якість поверхонь деталі, що виготовляється, та інші технічні вимоги до неї; продуктивність обробки, що дозволяє виконати програму випуску в умовах прийнятого типу виробництва (у потоковому виробництві з урахуванням такту випуску); найменшу технологічну собівартість.

тість деталі, тобто максимальну економічність і ефективність. *При остаточному виборі верстата* враховують [17]:

- відповідність головного параметра верстата, що найбільшою мірою виявляє його технічні можливості, розмірам оброблюваних заготовок або декількох одночасно оброблюваних заготовок;

- відповідність продуктивності верстата кількості деталей, що підлягають виготовленню в заданий період часу;

- можливість роботи на оптимальних режимах різання, при яких завантаження верстата за потужністю повинне бути не менше 80 %, а за часом роботи 60...90 %;

- час виготовлення деталі або партії деталей та їх собівартість повинні бути мінімальними;

- наявність устаткування в цеху або реальну можливість його придбання за мінімальною ціною.

При високому ступені концентрації операції вибирають багатосупортні або багатошпindelні верстати. Вирішальним чинником при виборі того або іншого верстата є економічність процесу обробки, що визначається відносно основних часів, штучних часів і приведених витрат на виконання робіт різними методами. Кращим варіантом вважають той, значення показників якого мінімальні.

При виборі варіанту устаткування враховують також максимальне скорочення терміну окупності витрат на механізацію і автоматизацію. Наприклад, розмір економічно доцільної партії заготовок, при якій слід перекладати їх обробку з токарного верстата на револьверний, складає 5...25 шт., з револьверного верстата на одношпindelний автомат – 150...700 шт., з одношпindelного автомата на багатошпindelний – від 150 шт. і більше (залежить від маси й конфігурації заготовки, ступеня концентрації операції та інших чинників) [9].

Складнішим є питання про економічність застосування верстатів з ЧПК. При обробці спеціальних заготовок особливо складної конфігурації доцільність застосування цих верстатів не викликає сумнівів, незважаючи на їх високу вартість. При обробці звичайних деталей машинобудування використання верстатів з ЧПК замість токарних, револьверних, фрезерних, розточувальних та інших у кожному конкретному випадку повинно бути обґрунтовано ретельним економічним аналізом.

В умовах великосерійного й масового виробництва часто представляється доцільним виконання операції на спеціальному верстаті. У таких випадках повинно бути розроблене завдання на його проектування. Одночасно необхідно враховувати можливості виготовлення такого верстата на самому підприємстві або розміщення замовлення на спеціалізованому заводі (наприклад, на заводі агрегатних верстатів і т. п.).

Вибір технологічного оснащення – верстатних і контрольних пристроїв, допоміжного інструменту та ін. – багато в чому визначається типом виробництва. В умовах одиничного і дрібносерійного виробництва користуються переважно універсальними стандартними пристроями (машинни-

ми лещатами, самоцентрувальними патронами та ін.), а також універсально-складальними пристроями (УСП). В умовах дрібносерійного й серійного виробництва, окрім УСП, застосовуються збірно-розбірні пристрої (ЗРП) і універсально-налагоджувальні пристрої (УНП), що дозволяють швидко перебудовуватися на обробку партії інших деталей. У великосерійному й масовому виробництві виправдовують себе дорогі механізовані й автоматизовані спеціальні пристрої зі швидкодіючими приводними системами, що забезпечують високу точність і продуктивність.

8.2.9 Вибір різального інструменту

При виборі різального інструменту для виконання кожної проектованої операції керуються перш за все тим, що інструмент повинен забезпечувати потрібні точність і якість оброблених поверхонь, а також необхідну продуктивність і рентабельність.

Застосування того або іншого інструменту визначається наступними чинниками: методом обробки поверхні, типом верстата й технологічного оснащення, конфігурацією і розмірами заготовки, властивостями оброблюваного матеріалу, типом і рівнем організації виробництва та ін. У одиничному й серійному виробництві перевагу віддають більш дешевому універсальному інструменту; у великосерійному й масовому широко використовують дорогий, але продуктивніший спеціальний інструмент, що виготовляється в інструментальному цеху підприємства. У реальних умовах зважають на наявність або можливість придбання необхідного (відповідного) інструменту.

Різальні властивості інструменту підбирають з урахуванням умов і стадії виконання операції. Для остаточної і опоряджувальної обробки конструкційних або легованих сталей і чавунів найбільш ефективні інструменти з надтвердих матеріалів, застосовують, наприклад, оксидну (білу), оксидно-карбідну (чорну) або оксидно-нітридну мінералокераміку, а також композити на основі синтетичних полікристалічних матеріалів, що дозволяють вести обробку на швидкості різання 1000 м/хв і вище. Для опоряджувальної обробки кольорових металів і сплавів та інших безвуглецевих матеріалів широко використовують інструмент із синтетичних і природних алмазів. Застосування для остаточної обробки інструменту з надтвердих матеріалів дозволяє досягати необхідної точності й мінімальної шорсткості поверхонь, не вдаючись до шліфування.

Для попередньої і чистової обробки сталей при порівняно спокійних процесах різання застосовують титано-вольфрамові тверді сплави (Т15К6, Т5К10 та ін.), а за наявності поштовхів і вібрацій і при обробці чавуну – вольфрамові сплави (ВК4, ВК8 та ін.).

Інструментальні швидкорізальні сталі типу Р6М5, Р9К5 (рідше Р9 і Р18) використовують при низьких швидкостях різання і недостатній поту-

жності верстата, а також для виготовлення складних фасонних інструментів, таких як мітчики, черв'ячні й модульні фрези, протяжки та ін.

Відомості про вибраний для виконання операції інструмент заносять у технологічні карти, указують найменування, характеристику й номер стандарту інструменту, а також матеріал його різальної частини [17].

8.2.10 Розрахунок параметрів режиму різання та нормування

При призначенні режимів різання для одноінструментальної обробки зазвичай враховують характер обробки, вимоги до точності й шорсткості оброблюваних поверхонь, тип і стан обладнання, матеріал і стан заготовки (міцність, твердість та ін.), тип і розміри інструмента, матеріал його ріжучої частини та ін. Параметри режиму різання визначаються в наступній послідовності.

1. Визначається глибина різання t . Зазвичай глибину обробки приймають по можливості максимальною, що дорівнює всьому припуску на обробку або більшій його частині, що зменшує число робочих ходів. При чистовій обробці значення t установлюють у залежності від вимог до точності розмірів та шорсткості оброблюваної поверхні.

2. Призначають подачу s . При чорновій обробці подачу призначають максимально можливою, виходячи з міцності та жорсткості технологічної системи, потужності приводу верстата, міцності різального інструмента та інших обмежувальних факторів [17].

При чистовій обробці подачу вибирають у залежності від вимог до точності розмірів та шорсткості оброблюваної поверхні. Вибрані значення подач погоджують з можливостями їх реалізації на верстаті та приймають найближче найменше значення s .

3. Визначають швидкість різання v за емпіричними формулами або за нормативами [17].

4. Визначається частота обертання шпинделя, xv^{-1} :

$$n_p = \frac{1000v}{\pi d}$$

або число подвійних ходів інструмента (або заготовки) за хвилину:

$$n_p = \frac{1000v}{2l},$$

де d і l – діаметр оброблюваної поверхні (або діаметр інструмента при фрезеруванні, свердлінні й т. п.) та довжина ходу інструмента (заготовки) відповідно, мм.

Розрахункові значення n_p порівнюють зі значеннями n_B , які можуть бути реалізовані на верстаті, та приймають ближчі найменші значення.

Визначається дійсна швидкість різання з урахуванням n_B . Потім розрахунком або за нормативами визначається потужність різання, що не повинна перевищувати потужності верстата.

Основний час визначається розрахунком за відповідними формулами в залежності від виду обробки (див. додаток А).

Допоміжний час, пов'язаний з основними і (або) допоміжними переходами, встановлюють за нормативами [13, 14]. Потім обчислюють штучний і штучно-калькуляційний час технологічної операції.

8.2.11 Вибір економічного варіанту технологічного процесу

Найбільш економічний варіант технологічного процесу найчастіше вибирають за наслідками порівняння собівартості обробки заготовок. Існують різні методи розрахунку собівартості.

Найбільш точним вважається *метод прямої калькуляції* – елементарний метод, – при якому порівнюють технологічну собівартість C_T обробки. У загальному випадку величина C_T відповідає цеховій собівартості й складається з наступних елементів [17]:



де $C_{ЗР}$, $C_{ЗН}$ – відповідно, заробітна плата робочих і наладчиків з нарахуваннями;

C_E – витрати на силову електроенергію;

$C_{ВМ}$ – витрати на допоміжні матеріали (МОР, обтиральні та ін.);

$C_{РІ}$, $C_{КВ}$ – витрати на експлуатацію і амортизацію різального інструменту, контрольно-вимірювального інструменту і приладів відповідно;

$C_{ОБ}$ – витрати на амортизацію устаткування;

C_R – витрати на ремонт і експлуатацію устаткування;

$C_{П}$ – витрати на експлуатацію і амортизацію верстатних пристроїв;

$C_{ПЛ}$ – витрати на експлуатацію і амортизацію виробничих приміщень;

$C_{Ц}$ – загальноцехові витрати (заробітна плата допоміжних робітників, інженерно-технічного персоналу, службовців, а також витрати на експлуатацію і ремонт оргтехніки та ін.);

$C_{ЗАГ}$ – вартість вихідної заготовки (її виготовлення, матеріал за вирахуванням вартості відходів, що реалізуються, – стружки).

Якщо в порівнюваних варіантах значення окремих елементів собівартості не змінюються, то їх із розрахунку можна виключити. Наприклад, якщо залишається тією самою організаційна структура ділянки або цеху, якщо використовуються одні й ті ж початкові заготовки, то в розрахункову залежність можна не вводити значення $C_{Ц}$ і $C_{ЗАГ}$.

Метод прямої калькуляції є основним методом зіставлення економічності технологічних процесів у всіх відповідальних випадках проектування, особливо в умовах масового й великосерійного виробництва. Цей метод точний, але трудомісткий, унаслідок чого в цехах діючих виробництв використовується рідко.

Частіше, особливо в серійному виробництві, застосовують метод на основі укрупнених нормативів витрат – *нормативний метод*. У цьому випадку C_T розраховують за тією ж формулою, але окремі доданки собівартості знаходять не прямим розрахунком за точними залежностями, а за відповідними таблицями нормативів витрат, віднесених до години або до хвилини роботи верстата.

Нормативи встановлюють з урахуванням деяких середніх умов виконання операцій, найбільш характерних для даного типорозміру верстата.

Елементи собівартості, віднесені до одиниці часу, складають, а потім помножують на фактичний час роботи верстата і отримують наближене значення технологічної собівартості операції. Нормативний метод значно скорочує об'єм розрахунків.

При *бухгалтерському методі* розрахунку технологічної собівартості обробки C_T використовують наступну формулу:

$$C_T = C_{ЗП} + C_{ВР} + C_{Ц},$$

де $C_{Ц.Р}$ – сума цехових витрат, не врахованих іншими доданками. Ці витрати виражають у відсотках (Z) від заробітної плати виробничих робітників: $C_{Ц.Р} = C_{ЗП} \cdot Z$. Значення $C_{Ц.Р}$ залежить від типу й ступеня автоматизації виробництва й коливається від 150 % у масовому до 800 % і більше в одиничному виробництві. З урахуванням значень $C_{Ц.Р}$ технологічна собівартість

$$C_T = C_{ЗП} + C_{ВР} + (C_{ЗП} \cdot Z).$$

Цей метод визначення собівартості простий, але не придатний для оцінки різних варіантів технологічного процесу, оскільки не враховує різниці витрат на експлуатацію і амортизацію устаткування й засобів технологічного оснащення залежності від їх складності.

Точнішу оцінку варіантів технологічних процесів можна одержати, порівнюючи їх за трудомісткістю механічної обробки і коефіцієнтами основного часу, використанням матеріалу і завантаженням устаткування.

Трудомісткість всього технологічного процесу дорівнює сумі трудомісткості $t_{штi}$ всіх n операцій, що складають даний процес:

$$T_{шт} = \sum_{i=1}^n t_{штi}$$

У потоковому виробництві трудомісткість технологічного процесу дорівнює добутку такту випуску на число всіх операцій: $T_{T.II} = t_B n$. Іноді варіанти порівнюють за верстатомісткістю виготовлення партії деталей.

Коефіцієнт основного часу є відношенням основного часу до штучного $K_O = t_O / t_{шт}$: чим він вище, тим продуктивніше використовується верстат.

Коефіцієнт K_{BM} використання матеріалу за ГОСТ 3.1404–86 визначають відношенням маси готової деталі $M_{ДЕТ}$ до маси заготовки $M_{ЗАГ}$. Його рекомендовані значення: $K_{BM} > 0,5 \dots 0,6$ – для одиничного, $K_{BM} > 0,7$ – для серійного і $K_{BM} > 0,85$ – для масового виробництва.

Коефіцієнт K_3 завантаження устаткування характеризує відношення розрахункового числа верстатів до фактично прийнятого. Цей коефіцієнт прагнуть наблизити до одиниці. У масовому виробництві $K_3 = 0,85 \dots 0,90$, в серійному $K_3 = 0,6 \dots 0,7$. При оцінці варіантів технологічних процесів коефіцієнт завантаження є середнім арифметичним значень K_3 для всіх верстатів, на яких виконують обробку.

Відносні критерії використовують на додаток до абсолютних. Самостійного значення для оцінки економічності технологічних варіантів ці критерії не мають. Іноді в якості критеріїв оцінки економічності технологічних процесів використовують величини основного t_0 або штучного $t_{шт}$ часу та ін.

8.2.12 Технологічна документація

Розробка технологічної документації є завершальним етапом проектування технологічного процесу. Стандартами ЄСТД передбачені наступні види технологічної документації [8, 9].

Маршрутна карта (МК) – технологічний документ, що містить опис всіх технологічних операцій у послідовності їх виконання без вказівки переходів і технологічних режимів. МК застосовують у серійному, дрібносерійному й дослідному виробництві як основний самостійний документ. Замість МК технологічний маршрут можна указувати в картах технологічного процесу (КТП). МК або КТП, що його замінює, є обов'язковим документом будь-якого технологічного процесу.

Операційна карта (ОК) містить повний опис технологічних операцій із вказівкою переходів і технологічних режимів. Операційний опис технологічного процесу передбачає опис всіх технологічних операцій у послідовності їх виконання; його застосовують у серійному й масовому виробництві, а для особливо складних деталей – у дрібносерійному і навіть одиничному. Замість ОК можуть використовуватися КТП.

Карти ескізів (КЕ) – документи, що містять графічну інформацію про технологічний процес у цілому і про окремі його елементи. Для меха-

нічної обробки в КЕ приводять ескізи наладок у вигляді схеми установки заготовок. На схемах позначають бази, виконувані розміри з допусками, а також шорсткість оброблюваних поверхонь. КЕ застосовують у поєднаннях з ОК, МК і КТП.

Окрім перерахованих, для оформлення технологічних процесів застосовують *розрахунково-технологічні карти* для обробки деталей на верстатах з ЧПК, матеріальні відомості, відомості оснащення, технологічні інструкції, специфікації технологічних документів та ін.

У серійному, дрібносерійному й дослідному виробництві, коли виріб, що виготовляється, включає окремі складні й точні деталі, рекомендується виконувати *маршрутно-операційний опис* технологічного процесу, при якому дається скорочений опис технологічних операцій у маршрутній карті в послідовності їх виконання з повним описом окремих операцій в інших технологічних документах (наприклад, ОК).

Контрольні запитання

- 1 Дайте визначення видів технологічних процесів і галузей їх використання.
- 2 Наведіть послідовність розробки технологічного процесу механічної обробки деталі.
- 3 Які існують форми організації технологічних процесів?
- 4 Які структури побудови технологічних операцій використовують у машинобудуванні?
- 5 За якими параметрами вибираються технологічне обладнання, оснащення, засоби контролю при проектуванні технологічних процесів?
- 6 Як визначається технологічна собівартість технологічних операцій?

9 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ МАШИН

9.1 Характеристика складальних процесів

Складання – це утворення рознімних та не рознімних з'єднань складових частин заготовки або виробу. Складання може здійснюватись простим з'єднанням деталей, їх запресуванням, згвинчуванням, паянням, клепанням, зварюванням і т. ін. [9, 22].

За своїм об'ємом складання поділяється на *загальне складання*, об'єктом якого є виріб у цілому, та на *вузлове складання*, об'єктом якого є складова частина виробу, тобто складальна одиниця або вузол.

Попереднє складання – це складання заготовок, складових частин або виробу в цілому, які в подальшому підлягають розбиранню (наприклад, складання вузла з метою визначення розміру нерухомого компенсатора).

Проміжне складання – це складання заготовок, що виконується для подальшої спільної обробки (наприклад, складання корпусу редуктора з кришкою для наступної обробки отворів під підшипники).

Складання під зварювання – це зварювання заготовок для їх подальшого складання.

Остаточне складання – це складання виробу або його складової частини, після якого не передбачене його наступне розбирання при виготовленні.

За методом утворення з'єднань складання поділяється на:

– *слюсарне складання*, тобто складання виробу або його складових частин за допомогою слюсарно-складальних операцій;

– *монтаж*, тобто установку виробу або його складових частин на місці використання (наприклад, монтаж верстата з ЧПК на підприємстві-споживачі);

– *електромонтаж*, тобто монтаж електровиробів або їх складових частин, що мають струмопровідні елементи;

– *зварювання, паяння, клепаання, склеювання*.

Організаційні форми складання. За переміщенням виробу, що складається, складання поділяється на стаціонарне та рухоме, за організацією виробництва – на непотокове, групове та потокове (рисунок 9.1) [9].

Непотокове стаціонарне складання без розподілу складальних робіт характеризується тим, що увесь процес складання та його складальних одиниць виконується на одній складальній позиції: стенді, верстаті, робочому місці, на підлозі цеху.

Використовується концентрація складальних операцій.

Переваги методу: 1) збереження незмінного положення основної базової деталі, що сприяє досягненню високої точності виробу, що склада-

ється (особливо при великих виробках з недостатньою жорсткістю конструкції);

2) використання універсальних транспортних засобів, пристроїв та інструментів, що скорочує тривалість та вартість технічної підготовки виробництва.

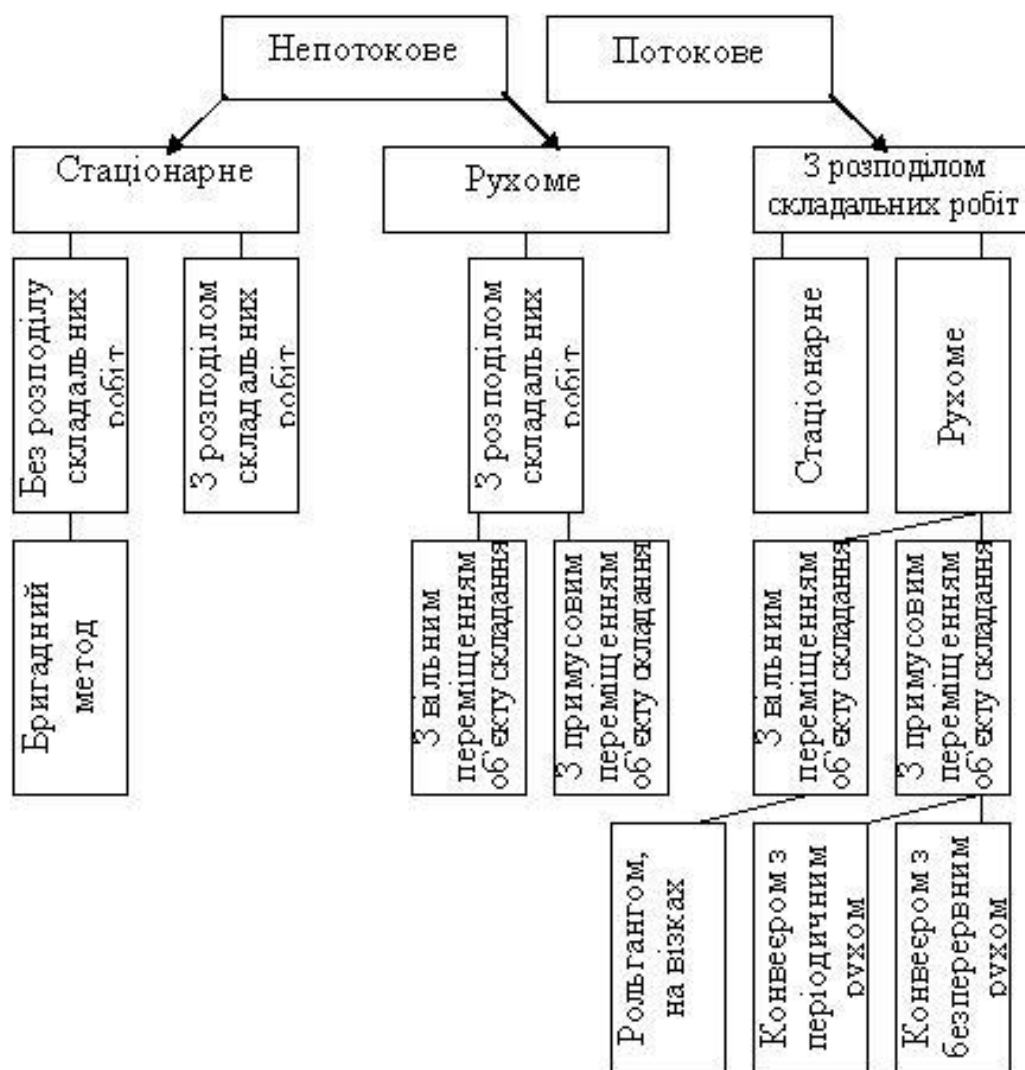


Рисунок 9.1 – Організаційні форми складання

Недоліки методу: 1) тривалість загального циклу складання, що виконується послідовно; 2) потреба у висококваліфікованих робітниках; 3) збільшення потреби у великих складальних стендах та високих приміщеннях складальних цехів.

Галузь використання методу – одиничне та дрібносерійне виробництво важкого та енергетичного машинобудування, експериментальні та ремонтні цехи (складання великих деталей, прокатних станів, великих турбін і т. ін.) [22].

Непотокове стаціонарне складання з розподілом складальних робіт передбачає диференціацію процесу на вузлове та загальне складання.

Складання кожної складальної одиниці та загальне складання виконується в один і той же час різними бригадами та багатьма складальниками. Машина, що складається, залишається нерухомою на одному стенді.

Кількість робочих позицій або стендів γ_0 для паралельного складання однакових об'єктів визначається за формулою

$$\gamma_0 = (T_o - T_c) / T,$$

де T_o – розрахункова трудомісткість усіх переходів складання одного об'єкту;

T_c – розрахункова трудомісткість переходів, виконання яких суміщене з виконанням інших об'єктів;

T – розрахунковий такт складання.

Галузь використання методу – серійне виробництво середніх та великих машин.

Переваги складання з розподілом на вузлове та загальне складання:

- 1) значне скорочення тривалості загального циклу складання;
- 2) скорочення трудомісткості виконання окремих складальних операцій за рахунок: а) спеціалізації робочих місць складання вузлів та їх обладнання відповідними пристроями; б) спеціалізації робітників-складальників визначених вузлів та набуття ними відповідних навичок; в) кращої організації праці;

- 3) зниження потреби у дефіцитній робочій силі складальників високої кваліфікації;

- 4) більш раціональне використання приміщення та обладнання складальних цехів (вузлове складання виконується у більш низьких приміщеннях, не обладнаних потужними кранами);

- 5) зменшення розмірів високих приміщень складальних дільниць;

- 6) зменшення собівартості складання.

Непотокове рухоме складання характеризується послідовним переміщенням виробу, що складається, від однієї позиції до іншої. Переміщення виробу, що складається, може бути *вільним* або *примусовим*. Технологічний процес складання поділяється на окремі операції, що виконуються одним або декількома робітниками.

Складання з вільним переміщенням об'єкту, що складається, виконується шляхом переміщення робітником за допомогою механізованих засобів або вручну складальної одиниці після закінчення операції.

Складальні одиниці можуть складатись на візках, на рольгангах і т. п.

Складання з примусовим переміщенням об'єкту, що складається, полягає в тому, що об'єкт складання переміщується за допомогою конвеєра або візків, замкнених веденим ланцюгом.

Кількість робочих позицій q_1 , які повинен послідовно пройти об'єкт у процесі складання,

$$q_1 = (T_o - T_c) / ((t - t_n) \gamma_1),$$

де t_n – час, необхідний для переміщення одного об'єкту, що складається, з робочої позиції на наступну;

γ_1 – кількість паралельних потоків, необхідних для виконання виробничої програми паралельного складання однакових об'єктів, що складаються.

Кількість паралельних потоків

$$\gamma_1 = (T_{on}^{\max} + t_n) / T,$$

де T_{on}^{\max} – тривалість найбільш тривалої складальної операції (трудомісткість двох переходів, що не суміщаються, для найбільш тривалої операції).

Непотокове рухоме складання використовується в серійному виробництві.

Потокове складання характеризується тим, що окремі операції ТП складання виконуються за однаковий проміжок часу – такт або за проміжок часу, кратний такту.

Потокове складання може бути організоване з *вільним* або *примусовим ритмом*. У першому випадку робітник передає виріб на іншу операцію після виконання власної роботи, в іншому випадку, при роботі з примусово-регульованим ритмом, момент передачі виконаної роботи на наступну операцію визначається сигналом (світловим або звуковим) або швидкістю конвеєра, що безперервно або періодично рухається.

Переміщення виробу, що складається, при потоковому складанні здійснюється:

- вручну або за допомогою візків, нахилоного лотка або рольганга;
- за допомогою розподільного конвеєра;
- на конвеєрі з періодичним переміщенням, у період зупинки якого на ньому виконується складання;
- на конвеєрі, що безперервно рухається, переміщенням виробу зі швидкістю, що забезпечує можливість виконання складальних операцій.

Загальна тривалість потокового складання

$$T_n = T n_n$$

де T – такт складання;

n_n – кількість робочих місць на потоковій лінії, що залежить від кількості складальних та контрольних операцій (з урахуванням резервних місць).

Головною умовою організації потокового складання є забезпечення взаємозамінності складальних вузлів та окремих деталей, що входять у потокове складання. При необхідності використання приганяльних робіт вони повинні здійснюватись за межами потоку на операціях попереднього складання.

Потокове стаціонарне складання застосовується при складанні великих та громіздких виробів (наприклад, при складанні літаків і т. п. виробів).

Об'єкти складання залишаються на робочих позиціях протягом усього процесу складання. Робітники (або бригади) за сигналом усі одночасно переходять від одних об'єктів, що складаються, до інших через періоди часу, що дорівнюють такту. Кожний робітник (або кожна бригада) виконують закріплену за ним (бригадою) одну й ту ж операцію на кожному з об'єктів, що складаються.

Кількість робітників (або бригад) q_2 , необхідних для одного потоку,

$$q_2 = \frac{(T_o - T_c)}{((t - t_p')\gamma_2)},$$

де t_p' – час, необхідний для переходу робітників (або бригад) від одних об'єктів складання до інших;

γ_2 – кількість паралельних потоків, необхідних для виконання виробничої програми паралельного складання однакових об'єктів:

$$\gamma_2 = (T_{on} + t_p')/T.$$

Переваги методу: робота з установленим тактом, рівномірний випуск продукції, короткий цикл складання, висока продуктивність праці, велике знімання продукції з 1 м² площі.

Галузь використання: серійне виробництво великогабаритних машин.

Потокове рухоме складання економічно доцільне при значному випуску машин (великосерійне, масове виробництво). Даний вид складання може бути здійснений з безперервним або періодичним переміщенням об'єктів, що складаються.

Переваги методу: робота з установленим тактом; можливість майже повного суміщення часу, що витрачається на транспортування об'єктів, з часом їх складання.

Кількість робочих позицій q_3 , яку повинен пройти об'єкт при складанні:

- при складанні з безперервним рухом об'єкту

$$q_3 = \frac{(T_o - T_c)}{((T - t_p t'')\gamma_3)};$$

- при складанні з періодичним рухом об'єкту

$$q_3 = \frac{(T_o - T_c)}{((T - t_n)\gamma_2)},$$

$$\gamma_3 = (T_{on}^{\max} + t_p'')/T,$$

де t_p'' – час, необхідний робітнику для повернення у вихідне положення після виконання операції;

γ_3 – кількість паралельних потоків, необхідних для виконання виробничої програми при паралельному потоковому рухомому складанні об'єктів.

9.2 Методи досягнення точності замикаючої ланки при складанні

Метод повної взаємозамінності – метод, при якому потрібна точність замикаючої ланки розмірного ланцюга досягається в усіх об'єктів шляхом включення до неї складових ланок без вибору, підбору або зміни їх значень. При цьому допуски складових ланок розраховують за методом максимуму-мінімуму, який базується на наступних залежностях [1, 6, 8]:

- 1) рівняння розмірного ланцюга в номінальних значеннях

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i A_i,$$

де A_{Δ} – номінальне значення замикаючої ланки;

A_i – номінальне значення складових ланок;

ξ_i – передаточне відношення i -ї ланки розмірного ланцюга (у лінійних розмірних ланцюгах для збільшувальних ланок $\xi_i = +1$, для зменшувальних ланок $\xi_i = -1$);

m – загальна кількість ланок розмірного ланцюга;

- 2) допуск замикаючої ланки

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} TA_i,$$

де TA_{Δ} – допуски складових ланок.

Використання економічне в умовах досягнення високої точності при малій кількості ланок розмірного ланцюга ($m < 6$) і при достатньо великій кількості виробів, що підлягають складанню. В іншому випадку допуски

складових ланок будуть дуже малими, що призводить до збільшення варіації механічної обробки деталей.

Метод неповної взаємозамінності – метод, при якому потрібна точність замикаючої ланки розмірного ланцюга досягається у наперед обумовленої частини об'єктів шляхом включення в неї складових ланок без вибору, підбору або заміни їх значень.

При цьому попередньо встановлюється процент ризику, тобто процент виробів, у яких може не забезпечуватись точність замикаючої ланки. Розрахунок параметрів складових ланок при цьому виконують теоретико-ймовірнісним методом, в основу якого покладені наступні математичні залежності [1, 6, 8]:

- 1) рівняння розмірного ланцюга в номінальних значеннях

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i A_i ;$$

- 2) допуск замикаючої ланки

$$TA_{\Delta} = t \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \lambda_i^2 TA_i^2} ,$$

де t – коефіцієнт ризику;

λ_i – коефіцієнт, що характеризує закон розсіювання розмірів;

- 3) координата середини поля допуску замикаючої ланки

$$E_{C_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i E_{C_i} .$$

Коефіцієнт ризику t може бути вибраний з таблиць значень функції Лапласа $\Phi(t)$ в залежності від прийнятого проценту ризику [9]. При нормальному розподілі відхилень розмірів та рівно ймовірному їх виході за обидві межі поля допуску значення коефіцієнту ризику P пов'язане зі значенням функції $\Phi(t)$ формулою

$$P = 100(1 - \Phi(t))\% .$$

Використання доцільне для досягнення точності в багатоланкових розмірних ланцюгах; допуски на складові ланки при цьому більші, ніж у попередньому методі, що підвищує економічність отримання складальних одиниць; у частини виробів похибка замикаючої ланки може бути за межами допуску на складання, тобто можливий визначений ризик незбіжності.

Метод групової взаємозамінності – метод, при якому потрібна точність замикаючої ланки розмірного ланцюга досягається шляхом включення в розмірний ланцюг складових ланок, що належать до однієї з груп, на які вони попередньо розсортовані.

Сутність методу полягає в тому, що деталі виробу, що складається, обробляються за розширеними економічно досяжними допусками та сортуються за їх дійсними розмірами по групах таким чином, щоб при з'єднанні деталей, що відносяться до однойменної групи, була забезпечена точність замикаючої ланки, що установлена вимогами складального креслення. Метод групової взаємозамінності використовується для розмірних ланцюгів, що складаються з невеликої кількості ланок (зазвичай трьох-чотирьох). Він використовується при складанні з'єднань особливо високої точності, що практично не досяжна методами повної та неповної взаємозамінності (шарикові підшипники, плунжерні пари, нарізні з'єднання з натягом та ін.). Складання за методом групової взаємозамінності називають селективним складанням.

Розрахунками визначають групові допуски деталей, кількості груп n , на які повинні біти розсортовані деталі, що сполучаються, величини групових допусків та граничних групових розмірів.

Розрахункова схема показана на рисунку 9.2, де TA_1 та TA_2 – розширені (виробничі) допуски вала та отвору; TA_1^{GP} та TA_2^{GP} – групові допуски вала та отвору; S_{min} та S_{max} – мінімальний та максимальний виробничі зазори; S_{min}^{GP} та S_{max}^{GP} – мінімальний та максимальний групові зазори.

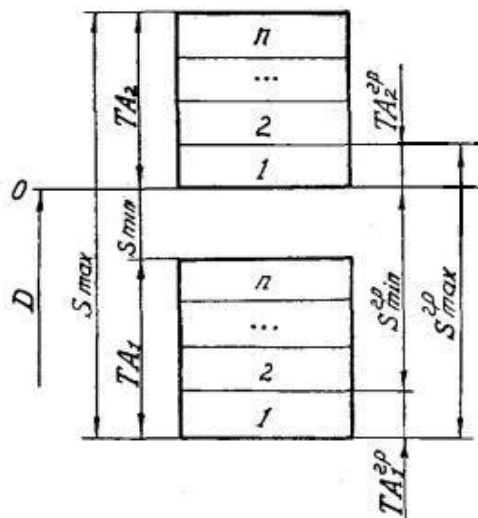


Рисунок 9.2 – Схема полів допусків з'єднання із зазором

Із розрахункової схеми (див. рисунок 9.2) видно, що

$$S_{min}^{GP} = S_{min} + TA_1 - \frac{TA_1}{n};$$

$$S_{\max}^{GP} = S_{\max} - TA_2 + \frac{TA_2}{n}.$$

Для забезпечення постійності граничних зазорів у всіх групах необхідно, щоб $TA_1 = TA_2$, і тоді $TA_1^{GP} = TA_2^{GP}$.

Метод групової взаємозамінності дозволяє значно підвищити точність складання без суттєвого підвищення вимог до точності механічної обробки або розширити допуски на механічну обробку без зниження точності складання. Метод доцільно використовувати в великосерійному та масовому виробництвах.

Метод регулювання – метод, при якому потрібна точність замикаючої ланки розмірного ланцюга досягається зміною розміру або положення компенсувальної ланки без видалення матеріалу з компенсатора. При використанні цього методу в конструкцію виробу вводиться спеціальна деталь – компенсатор, яким можуть бути підкладна плита, кільця, укладки, втулки й т. ін. Деталі, що складаються, у цьому випадку виготовляються за розширеними, економічно доцільними виробничими допусками [1, 6, 8]. Тоді виробничий допуск замикаючої ланки

$$TA_{\Delta}' = \sum_{i=1}^{m-2} TA_i',$$

де TA_{Δ}' – виробничі (збільшені) допуски складових ланок.

Величина компенсації визначається за формулою

$$T_K = TA_{\Delta}' - TA_{\Delta} - T_{MK},$$

де TA_{Δ} – допуск замикаючої ланки, установлений складальним кресленням;

T_{MK} – допуск на виготовлення компенсатора.

Перевагами методу є можливість виготовлення деталей за розширеними допусками та можливість відновлення точності замикаючої ланки при обслуговуванні або ремонті виробу шляхом заміни компенсатора.

До недоліків треба віднести збільшення обсягу складальних робіт, тому що необхідна величина компенсації може бути визначена шляхом вимірювання величини замикаючої ланки в складеному виробі. Після цього виконується повне або часткове розбирання виробу та установка (заміна) необхідного компенсатора.

Положення компенсатора фіксується гайками, стопорними гвинтами, клинами й т. п. У таких випадках точність замикаючої ланки забезпечується переміщенням компенсатора.

Метод припасування – метод, при якому потрібна точність замикаючої ланки розмірного ланцюга досягається зміною розміру компенсуваль-

ної ланки шляхом видалення з компенсатора визначеного шару матеріалу, що дорівнює T_{Δ} . Використовується при складанні виробів з великою кількістю ланок; деталі можуть бути виготовлені з економічними допусками, але потребуються додаткові витрати на припасування компенсатора; економічність залежить від правильного вибору компенсувальної ланки, яка не повинна належати декільком зв'язаним розмірним ланцюгам.

Складання з компенсувальними матеріалами – метод, при якому потрібна точність замикаючої ланки розмірного ланцюга досягається застосуванням компенсувального матеріалу, що вводиться в зазор між спряженими поверхнями деталей після їх установки в потрібному положенні. Використання найбільш доцільне для з'єднань та вузлів, що базуються за площинами (привалочні поверхні станин, рам, корпусів, підшипників, траверс і т. п.); у ремонтній практиці для поновлення працездатності складальних одиниць, для виготовлення оснащення.

9.3 Проектування технологічних процесів складання

Структура та зміст технологічного процесу складання. Технологічна підготовка складального виробництва включає розробку технологічного процесу, проектування та виготовлення спеціального оснащення, нестандартного обладнання, виконання необхідних розрахунків, планувань та інших робіт.

Технологічний процес складання – частина виробничого процесу, безпосередньо пов'язана з послідовним з'єднанням, взаємним орієнтуванням та фіксацією деталей і вузлів для отримання готового виробу, що задовольняє установленим вимогам [9].

Технологічна операція складання – закінчена частина технологічного процесу складання, що виконується безперервно над однією складальною одиницею або над сукупністю складальних одиниць (вузлів, деталей) одним або групою (бригадою) робітників на одному робочому місці.

Складальна операція – це технологічна операція установки та утворення з'єднань складових частин заготовки або виробу.

Перехід складальної операції – закінчена частина операції складання, що виконується над визначеною ділянкою складального з'єднання (вузла) незмінним методом виконання роботи при використанні одних і тих самих інструментів та пристроїв.

Прийом (елемент) складального процесу – окрема закінчена дія робітника в процесі складання або підготовки до складання виробу або вузла.

Концентрований процес складання характерний для дослідного, одиничного та частково дрібносерійного виробництва. Усі операції вузлового та загального складання виконуються на небагатьох або навіть на одному робочому місці (одним або декількома складальниками). Якщо виріб

включає типові складальні елементи, то вузлове складання диференціюється, а загальне складання ведеться концентровано.

Недоліки методу – тривалість календарного циклу внаслідок послідовного виконання операцій; неможливість відокремлення окремих робіт, що не потребують для їх виконання висококваліфікованих складальників; складність механізації та автоматизації нерозчленованих операцій.

Диференціація технологічного процесу складання характерна для дрібносерійного, а також серійного та масового виробництв.

Переваги методу – можливість розчленування технологічного процесу на операції, тривалість яких дорівнює або кратна такту складання; забезпечує однорідні (в ряді випадків) за кваліфікацією та розрядом роботи в межах операції, що дозволяє автоматизувати та механізувати ручні процеси, організувати потокове та автоматичне складання.

Вихідні дані для розробки технологічного процесу складання:

1) програма випуску виробу та умови виконання технологічного процесу;

2) складальні креслення виробу, вузлів; каталоги та специфікації деталей, що входять до виробу;

3) технічні умови складання та випробування виробу;

4) робочі креслення деталей, що входять до виробу;

5) об'єм кооперування;

6) каталоги та довідники із складального обладнання та технологічного оснащення;

7) зразок виробу, що складається (в серійному та масовому виробництвах);

8) дані про складальне виробництво, де передбачається виготовляти виріб (для діючого підприємства).

Послідовність проектування технологічного процесу складання.

1 Виконується аналіз складальних креслень та робочих креслень деталей та відпрацювання їх на технологічність.

Визначається службове призначення виробу, що складається; аналізуються конструкція виробу, правильність постановки розмірів, призначення допусків та посадок. Також потрібно визначити режим роботи виробу, крутний момент або зусилля, швидкість або частоту обертання та ін.

Виявляються усі замикаючі ланки, які необхідно витримати при складанні, та визначаються методи досягнення їх точності.

Під *технологічністю конструкції виробу (ТКВ)* розуміється сукупність властивостей конструкції виробу, що виявляються в можливості оптимальних витрат праці, засобів, матеріалів та часу при технічній підготовці виробництва, виготовленні, експлуатації та ремонті порівняно з відповідними показниками однотипних конструкцій виробів того ж призначення при забезпеченні установлених значень показників якості та прийнятих умовах виготовлення, експлуатації та ремонту.

До умов виготовлення або ремонту виробу відносяться тип, спеціалізація та організація виробництва, річна програма та повторюваність випуску, а також технологічні процеси, що використовуються.

Мета аналізу ТКВ – надання конструкції складальної одиниці або виробу такого комплексу властивостей, щоб вона задовольняла вимогам виготовлення, експлуатації і ремонту найбільш продуктивними та економічними способами при заданих умовах виробництва, експлуатації і ремонту.

Правила забезпечення технологічності конструкції складальних одиниць передбачають:

- можливість провести найбільш повний розподіл складання на вузлове та загальне. У цьому випадку можливе паралельне складання вузлів та паралельне загальне та вузлове складання, що скорочує цикл; підвищення продуктивності та якості складання за рахунок спеціалізації праці складальників та покращення організації праці; проведення випробувань вузла та виправлення виявлених дефектів;

- скорочення обсягу припасувальних робіт;

- можливість складання машин зі складальних одиниць без повторного розбирання;

- максимальне використання стандартних та уніфікованих складальних одиниць та деталей;

- можливість зниження трудомісткості та скорочення тривалості циклу вузлового та загального складання, зниження його собівартості.

Конструкцією повинні передбачатись місця для зручного та надійного захоплення складальних з'єднань та важких деталей вантажопідйомними пристроями, а також можливість зручного підведення механізованого складального інструмента.

2 У залежності від програми установлюється організаційна форма складання.

3 Виконується розмірний аналіз конструкції виробів, що складаються (установлюються методи досягнення точності складання).

4 Визначається степінь диференціації технологічного процесу складання, тобто визначається наявність операцій вузлового та загального складання (в серійному та масовому виробництвах).

5 Установлюється послідовність з'єднання усіх складальних одиниць та деталей виробу та розробляються схеми складання (загального та вузлових).

Розбивання виробу на складові частини виконується виходячи з наступних принципів:

- складальна одиниця не повинна розчленовуватись, як в процесі складання, так і в процесі подальшого транспортування та монтажу;

- габаритні розміри складальних одиниць повинні установлюватись виходячи з необхідності забезпечення можливості їх складання та з урахуванням наявності технічних засобів їх транспортування;

- складальним операціям повинні передувати підготовчі та припасувальні роботи, пов'язані зі зрізанням металу, які відокремлюються в операції та повинні виконуватись на спеціальному робочому місці або в механічних цехах на верстатах;

- складальна одиниця не повинна складатися з великої кількості деталей та з'єднань; зайве «подрібнення» на складальні одиниці ускладнює процес складання;

- більшість деталей машин (крім базових деталей та деталей кріплення) повинні увійти до складальних одиниць;

- виріб необхідно розчленувати таким чином, щоб можна було здійснювати складання найбільшої кількості складальних одиниць незалежно одне від іншого.

Послідовність складання в основному визначається конструкцією виробу, компоновкою деталей та методами досягнення потрібної точності й представляється у вигляді *технологічної схеми складання*.

Деталь (або складальна одиниця), з якої починають складання виробу, приєднуючи до неї інші деталі або складальні одиниці, називається *базовою деталлю* (або *базовою складальною одиницею*).

Технологічна схема складання є основою для проектування технологічного процесу складання (рисунок 9.3).

Після розробки схеми складання установлюють склад необхідних складальних, регулювальних, припасувальних, підготовчих, контрольних робіт та визначається склад технологічних операцій та переходів.

6 Визначаються способи з'єднання, перевірки положень та фіксації усіх складальних одиниць та деталей.

Визначається зміст технологічних операцій складання та методи контролю, випробувань виробу.

7 Розробляється необхідна технологічна оснастка (пристрої, різальний, монтажний, контрольний-вимірювальний інструмент та обладнання).

Використання механізованого інструменту дозволяє підвищити продуктивність праці в 2–3 рази.

При виборі обладнання та засобів технологічного оснащення ураховують:

- відповідність робочої зони обладнання виробу, що складається;
- продуктивність обладнання;
- технічні характеристики обладнання (зусилля заpresування, величини крутного моменту й т. ін.);
- наявність обладнання або можливість його придбання, або можливість його виготовлення з мінімальними витратами.

8 Виконується технічне нормування складальних робіт та техніко-економічне обґрунтування складання. Норми часу на виконання слюсарних та слюсарно-складальних робіт визначають відповідно з нормативами часу на слюсарно-складальні роботи.

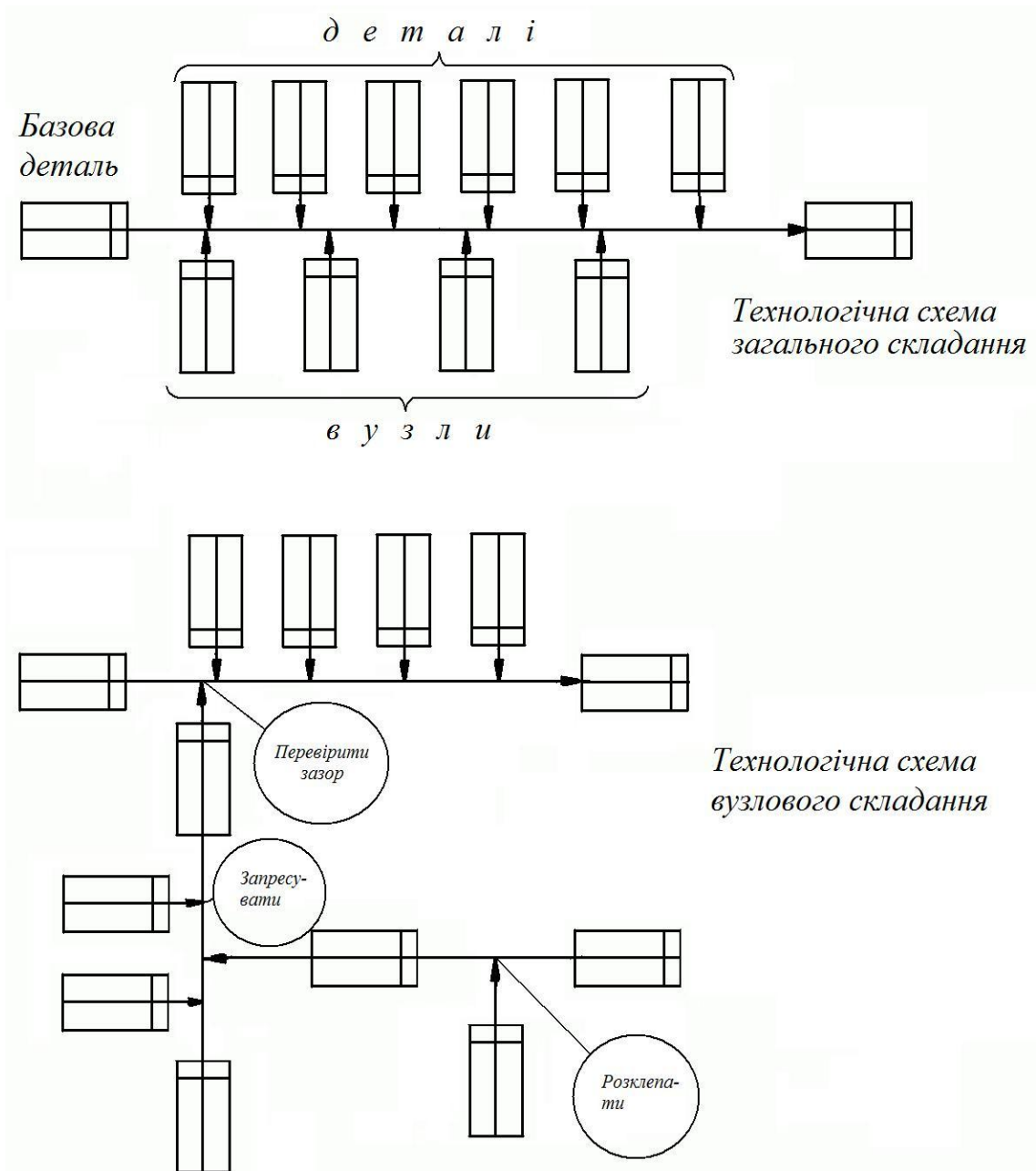


Рисунок 9.3 – Схеми складання виробу

Норма штучного часу на операцію

$$T_{шт} = T_{он} \left(1 + \frac{a_{відп} + a_{обс}}{100} \right) K,$$

де $T_{он}$ – оперативний час на операцію складання:

$$T_{он} = T_o + T_{\delta};$$

$a_{обс}$ – час на обслуговування робочого місця (у % від $T_{он}$);

$a_{відп}$ – час на відпочинок та власні потреби (у % від $T_{он}$);

K – поправний коефіцієнт на T_{on} , що ураховує кількість прийомів, які виконуються робітником.

При складанні виробів партіями визначається штучно-калькуляційний час

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

де $T_{n-з}$ – підготовчо-заклучний час на партію виробів.

9 Оформлюється технічна документація процесу складання.

В одиничному виробництві розробляють маршрутно-технологічні карти. У серійному виробництві розробляються маршрутно-операційні та операційні технологічні карти складання.

Запис операцій та переходів треба виконувати за ГОСТ 3.1703–79 для слюсарних та слюсарно-складальних робіт.

Приклад. Розробити схему складання вузла (рисунок 9.4), технологічний процес та виконати нормування за нормативами.

Схема вузлового складання «Валу проміжного» є відображенням послідовності складання деталей та окремих прийомів, спрямованих на отримання складальних сполучень.

Схема вузлового складання наведена на рисунку 9.4.

Технологічний процес складання «Валу проміжного»:

005 Комплектувальна

Скомплектувати деталі, покупні вироби, креслення відповідно до складального креслення та специфікації.

010 Мийна

Промити, очистити, просушити, протерти деталі.

015 Контрольна

Вибірковий контроль приєднаних виробів. Перевірити маркування, посадочні шийки приєднаних виробів.

020 Слюсарно-складальна

Пригнати та встановити шпонку поз.5 без підгонки і зачищення. Запресувати зубчасте колесо поз.2 на вал поз.1. Установити втулку поз.3 на вал поз.1 до упора. Запресувати підшипники поз.4 на вал поз.1.

Виконаємо нормування операції вузлового складання за нормативами [11]. Результати нормування відображені в таблиці 9.1.

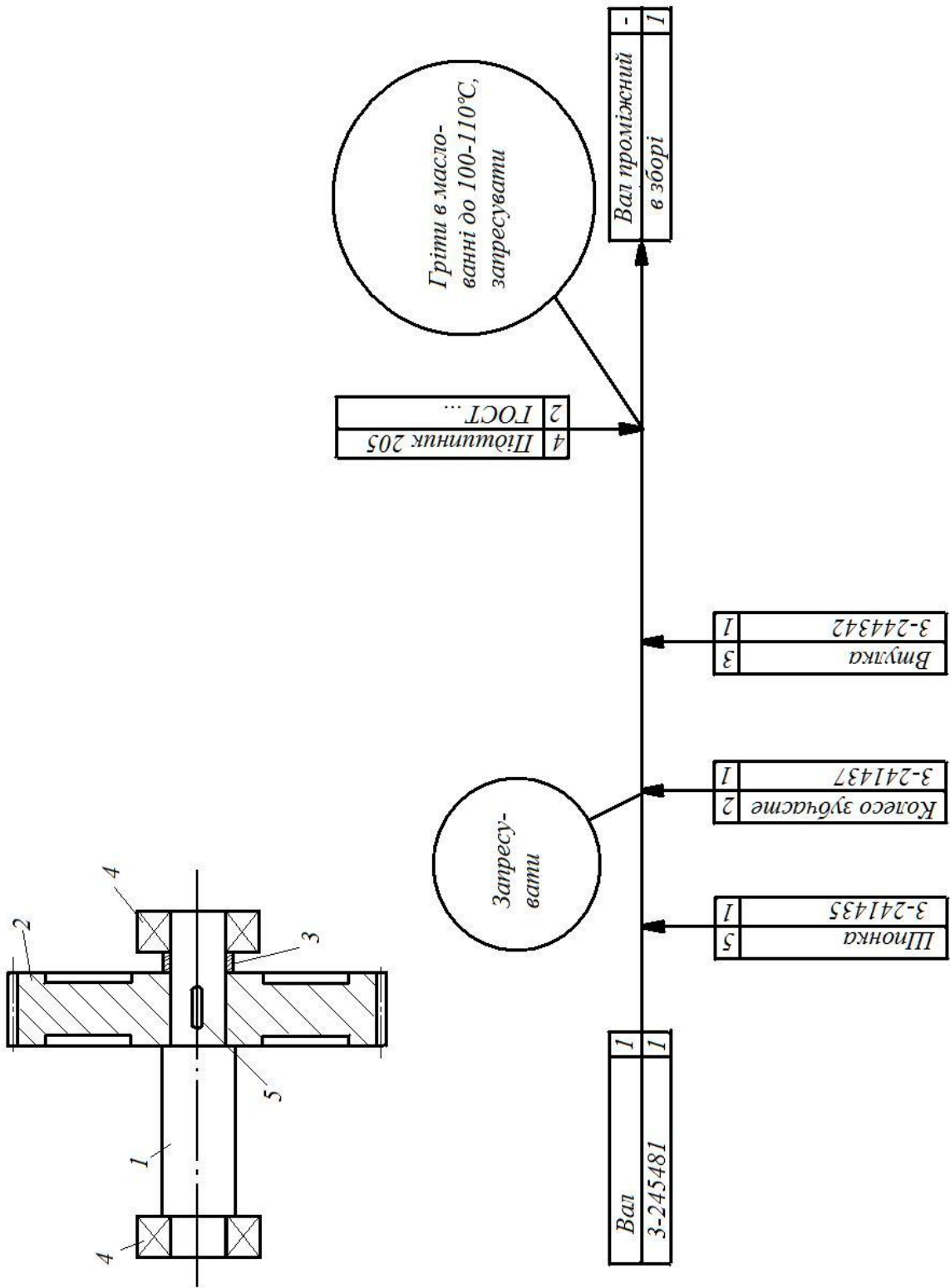


Рисунок 9.4 – Ескіз вузла та схема вузлового складання

Таблиця 9.1 – Нормування технологічного процесу складання «Валу проміжного»

Зміст переходів	Час, хв	Карта нормативів
Припасування та установлення шпонок у паз або отвір	1,65	Карта 105, поз.3
Запресування деталей, вузлів на вал або в отвір на пресі, маса до 30 кг, довжина запресування до 150 мм	1,45	Карта 91, поз.7
Установка деталей, вузлів на вал або в отвір до упору вручну; посадка ходова Ø до 100 мм, довжина просування до 100 мм, маса деталі до 0,5 кг	0,42	Карта 68, поз.14
Запресування підшипників кочення на вал або в отвір вручну, діаметр запресування до 85 мм, довжина запресування до 80 мм	0,95x2 = 1,9	Карта 87, поз.4
Усього:	5,42	

Випробування машин. Під випробуванням продукції розуміють експериментальне визначення значень параметрів показників якості продукції в процесі функціонування або при імітації умов експлуатації, а також при відтворенні визначених дій на продукцію за заданою програмою [8, 9].

Розрізняють контрольні та спеціальні (або дослідницькі) випробування.

Контрольні випробування – це випробування, що виконують з метою контролю якості продукції. Розрізняють наступні види контрольних випробувань:

1 *Перевірка виробу в статичному стані.* При цьому перевіряються: геометрична точність виробу (для металорізальних верстатів); плавність пересування рухомих вузлів у ручному режимі (якщо це передбачено конструкцією), постійність положення рухомих вузлів при фіксації їх положення на різних ділянках по довжині переміщення; якість складання електрообладнання.

2 *Перевірка виробу на холостому ході.* При цьому перевіряються: правильність функціонування механізмів і систем виробу: потужність холостого ходу; надійність блокування; рівень шуму та його частотний спектр; рівень вібрацій холостого ходу; температура нагрівання підшипників відповідних вузлів.

Перевірка виробу на холостому ході виконується на різних режимах, установлених програмою випробувань.

3 *Перевірка виробу під навантаженням.* При цьому перевіряються: безвідмовність роботи усіх механізмів та систем виробу при його наванта-

женні найбільшим зусиллям, потужністю або крутним моментом; якість роботи машини у виробничих умовах; експлуатаційні характеристики.

Спеціальні (дослідницькі) випробування – це випробування продукції, що виконуються з метою вивчення її параметрів та показників якості.

Контрольні запитання

- 1 Дайте класифікацію видів складання.
- 2 Галузь використання, особливості організації стаціонарного потокового та стаціонарного потокового складання.
- 3 Галузь використання, особливості організації рухомого потокового складання.
- 4 Які види з'єднань використовують у машинобудуванні?
- 5 Які вимоги технологічності висуваються до складальних одиниць (вузлів)?
- 6 Яка послідовність розробки технологічних процесів складання?
- 7 Які методи досягнення точності замикаючої ланки використовують в машинобудуванні?
- 8 Які види випробувань машин використовують у машинобудуванні?

10 ПРОЕКТУВАННЯ ТИПОВИХ ТА ГРУПОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

10.1 Розробка типових технологічних процесів

Типізація технологічних процесів передбачає виготовлення подібних за конфігурацією і технологічними особливостями деталей за однаковими технологічними процесами [8, 9].

Відповідно до ГОСТ 14.301–83 *типовий технологічний процес* розробляють для виготовлення в конкретних виробничих умовах типового представника групи виробів із загальними технологічними ознаками. Розроблено проф. А. П. Соколовським.

Типізація технологічних процесів розвивається за трьома напрямками: типізація технологічних процесів обробки окремих поверхонь, типізація технологічних процесів обробки сполучень поверхонь, типізація технологічних процесів обробки деталей.

Роботу з типізації технологічних процесів за будь-яким з названих напрямків треба починати з класифікації поверхонь, їх сполучень або деталей у цілому. *Основне завдання класифікації* – приведення всього різноманіття деталей, поверхонь та їх сполучень до мінімальної кількості типів, для яких можна розробити типові технологічні процеси обробки в кількох варіантах, щоб для будь-якого конкретного випадку обробки деталі, окремої поверхні, або сполучення поверхонь даного типу можна було вибрати найбільш раціональний типовий процес.

Ознаками класифікації елементарних поверхонь є: форма і розміри поверхні, потрібна точність і шорсткість, матеріал заготовки.

Розрізняють плоскі, циліндричні, зовнішні й внутрішні, фасонні та інші поверхні, для яких залежно від їх габаритних розмірів, точності й шорсткості призначають типові маршрути обробки поверхонь (ТМОП). Типові МОП повністю не розв'язують питання про створення типового технологічного процесу, оскільки певні сполучення елементарних поверхонь у конкретній заготовці часто дають можливість більш цілеспрямованої їх обробки за рахунок застосування групових налагоджень, комбінованого інструменту тощо.

Під типовим сполученням поверхонь розуміють таке сполучення, при якому всі елементарні поверхні можуть бути оброблені при незмінній технічній базі на одних і тих же верстатах, однакоvim інструментом при однаково-му змісті та послідовності операцій, установів і переходів. *Ознаками для класифікації типових сполучень* є: конфігурація окремих поверхонь; взаємне розташування; точність обробки окремих поверхонь і точність їх взаємного розташування; розміри окремих поверхонь; матеріал оброблюваної заготовки.

При типізації технологічних процесів обробки типових сполучень поверхонь складають план обробки такого сполучення за операціями в кі-

льких можливих варіантах; установлюють послідовність переходів для кожної операції; визначають тип різального й вимірювального інструменту для окремих переходів.

Прикладом є розробка процесів обробки ексцентрично розташованих або взаємно перпендикулярних поверхонь.

Типізація обробки сполучень поверхонь також не завжди вирішує завдання в цілому і не завжди однозначно визначає послідовність обробки окремих поверхонь конкретної деталі.

Остаточо завдання типізації технологічних процесів вирішується тільки на рівні обробки деталі в цілому.

Ознаками класифікації деталей є: конфігурація деталі, її габаритні розміри, точність обробки та якість оброблених поверхонь, матеріал заготовки.

За спільністю технологічних завдань, що виникають при виготовленні, деталі можна поділити на класи: вали, втулки, диски, ексцентричні деталі (наприклад, колінчасті вали), хрестовини, важелі, плити, стояки, кронштейни, косинці, бабки, зубчасті колеса, фасонні кулачки, ходові гвинти та черв'яки, дрібні кріпильні деталі.

Кожний клас поділяється на підкласи, групи, підгрупи, типи.

Під типом розуміють сукупність деталей одного класу, що мають у певних виробничих умовах однаковий маршрут типових операцій. При цьому типова технологічна операція характеризується єдністю змісту й послідовності технологічних переходів для групи виробів із загальними конструктивними й технологічними ознаками (ГОСТ 3.1109–82*).

Типова деталь об'єднує сукупність деталей, що мають однаковий план (маршрут) операцій, які здійснюються на однорідному обладнанні із застосуванням однотипних пристроїв та інструменту.

Класифікацію деталей поєднують з уніфікацією і стандартизацією їх конструкцій або окремих елементів. Це дозволяє укрупнити партії деталей, застосувати при їх виготовленні прогресивнішу технологію, скоротити номенклатуру різальних інструментів та іншого технологічного оснащення.

Завершальним етапом типізації є розроблення принципово загального технологічного процесу зі встановленням типових послідовностей і змісту операцій, типових схем базування і типових конструкцій оснащення. Типові технологічні процеси, що розробляються на основі аналізу і узагальнення досвіду передових підприємств, передбачають використання високопродуктивного устаткування, засобів механізації і автоматизації та застосування прогресивних методів отримання і обробки заготовок.

В умовах підприємства (заводу) типовий технологічний процес рекомендується розробляти в двох варіантах: робочому, складеному з урахуванням наявного устаткування і виробничих умов, і перспективному, такому, що враховує останні досягнення в області створення устаткування, методів обробки й організації виробництва, за яких рівень технології може бути значно вищим.

Типові технологічні процеси оформляють у вигляді технологічних карт. Якщо деталі достатньо повно уніфіковані, то на них складають одну технологічну карту з нормами часу. Якщо деталі відрізняються один від одного тільки розмірами, то типовий технологічний процес для них оформляють у вигляді незаповнених технологічних карт, в яких не указують режими обробки і норми часу. При меншому ступені уніфікації розробляють принципний технологічний процес, на базі якого складають технологічні процеси для конкретних деталей даного класу (рисунки 10.1).

Такі технологічні процеси за наявності всієї необхідної інформації для виготовлення деталей використовують як обов'язковий зразок при створенні одиничних робочих технологічних процесів або як базу для розробки стандартів на типові технологічні процеси.

У міру вдосконалення технології машинобудування типові технологічні процеси періодично коректують.

10.2 Розробка групових технологічних процесів

Групова обробка деталей застосовується в одиничному, малосерійному та серійному виробництвах. Під *груповою організацією виробництва* розуміють таку його форму, яка характеризується спільним виготовленням чи ремонтом груп виробів різної конфігурації на спеціалізованих робочих місцях (ГОСТ 14.004–83). Метод групової обробки, розроблений проф. С. П. Митрофановим, розвиває типізацію технологічних процесів. У основі цього методу лежить класифікація деталей, що закінчується формуванням *групи* – головної технологічної одиниці групової обробки [8, 9].

Проте класифікація деталей для групової обробки істотно відрізняється від класифікації, необхідної для типізації технологічних процесів. Якщо при типізації технологічних процесів в одному класі об'єднують деталі за принципом спільності їх конструкції, технологічного маршруту і змісту окремих операцій, то при груповій обробці під класом розуміють сукупність деталей, яка характеризується спільністю типів обладнання, необхідного для виготовлення чи обробки деталі в цілому або окремих її поверхонь.

Основна ознака, що об'єднує деталі в групи за окремими технологічними операціями, – спільність оброблюваних поверхонь чи їх сполучень. Тому до групи можуть належати заготовки різної конфігурації. У цьому розумінні поняття групи значно ширше, ніж поняття типу деталей.

При *формуванні групи деталей* ураховують такі ознаки: спільність елементів, які складають конфігурацію деталі, та спільність оброблюваних поверхонь; точність і шорсткість оброблюваних поверхонь; однорідність вихідної заготовки та оброблюваного матеріалу, що дає змогу обробляти їх на одному й тому ж обладнанні в однотипних пристроях; серійність випуску деталей і трудомісткість їх обробки за існуючою програмою.







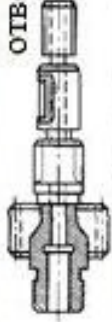
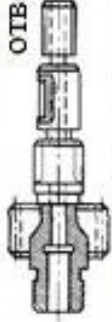


Вали ступінчасті. Ескізи та коротка характеристика		Послідовність основних технологічних операцій обробки валів																			
		005 фрезерно-центрувальна	010 токарна (чорна-ва і чистова)	015 крутилошліфувальна напівчистова	020 зубофрезерна	025 зубозакрутилошліфувальна	030 шліфенакатна	035 шліфувальна-фрезерна	040 сверлильна	045 розточувальна	050 різьбонарізна	055 термична наскрізне гартування	060 термична гартування СВЧ зубч. вали	065 термична гартування СВЧ шліфувальна	070 крутилошліфувальна чистова	075 зубошліфувальна	080 внутрішньошліфувальна	085 сінсарна	090 мінна	095 контрольна	100 ...
Вихідна заготовка ступінчастого вала		Гладкий порожнистий																			
																					
Шліцевий вал-шестерня		Шліцевий вал-шестерня																			
																					
Шліцевий вал		Шліцевий вал																			
																					
Вал-шестерня зі ступінчастим отвором		Вал-шестерня зі ступінчастим отвором																			
																					
Типова деталь		Типова деталь																			
																					

Рисунок 10.1 – Приблизна схема типового технологічного процесу обробки групи деталей (вал ступінчастий)

Групова обробка може обмежуватися окремими груповими операціями, а також може застосовуватися для створення групового технологічного процесу обробки деталей в цілому.

При побудові окремої групової операції для всієї групи деталей приймається один верстат при його незмінному налагодженні. При переході до обробки іншої деталі даної групи проводять незначне переналагодження.

Якщо в групу об'єднуються деталі з однаковим технологічним маршрутом, одержують груповий технологічний процес. Заготовки групи можуть проходити через усі операції типового маршруту або тільки через ті операції, які для них необхідні, інші операції маршруту пропускаються.

За вказаним принципом будуються *групові поточкові та переналагоджувальні автоматичні лінії*. Їх створення ґрунтується на поєднанні принципів типізації технологічних процесів і групової обробки, на застосуванні загального типового маршруту обробки деталей за окремими груповими операціями, які виконуються при використанні групових переналагоджувальних пристроїв.

Основою розробки групового технологічного процесу та вибору засобів технологічного оснащення для спільної обробки групи виробів є комплексний виріб (деталь).

Під *комплексною деталлю* розуміють реальну або умовну (штучно створену) деталь, що містить у своїй конструкції всі основні елементи (поверхні), характерні для деталей даної групи, а також виступає її конструктивно-технологічним представником.

Комплексна деталь є основою при розробці групового процесу і групових налагоджень.

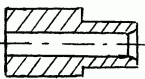
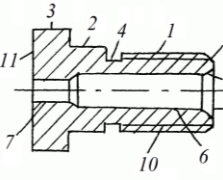
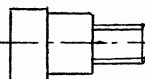
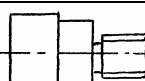
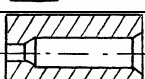
Групове налагодження – це сукупність пристроїв та інструменту, які забезпечують обробку всіх деталей даної групи із застосуванням незначних підналагоджень.

Розроблений груповий технологічний процес для комплексної деталі може використовуватись для виготовлення будь-якої деталі даної групи (після невеликих змін) (таблиця 10.1).

Контрольні запитання

- 1 Що називається типізацією технологічних процесів?
- 2 Що покладено в основу класифікації і типізації обробки окремих поверхонь, сполучень поверхонь, заготовок?
- 3 Особливості створення групи виробів.
- 4 Які вимоги висуваються до комплексної деталі?
- 5 Призначення та переваги групових змінно-поточкових ліній.

Таблиця 10.1 – Побудова групової операції

Ескіз деталі	Перехід											Комплексна деталь
	Точити пов.1	Точити пов.2	Точити пов.3	Точити канавку 4	Зенкувати отвір 5	Свердлити отвір 6	Свердлити отвір 7	Підрізати торець 8	Точити фаску 9	Нарізати різь 10	Відрізати деталь 11	
	+		+		+		+	+			+	
	+	+	+					+	+	+	+	
	+	+	+	+				+	+	+	+	
	+				+	+	+	+			+	

11 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

11.1 Галузь використання та технологічні можливості верстатів з ЧПК

Одним з основних напрямків автоматизації процесів механічної обробки заготовок (скороченні витрат допоміжного часу) дрібносерійного та серійного виробництва є використання верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) [8, 9, 23].

Під *числовим керуванням* розуміють керування обробкою заготовок на верстаті за керуючою програмою, в якій дані наведені в цифровій формі.

Керуюча програма є сукупністю команд на мові програмування, що відповідають заданому алгоритму функціонування верстата з обробки конкретної деталі.

Основні переваги верстатів з ЧПК:

- підвищена точність обробки заготовок (зменшення браку з вини робітника);
- підвищення продуктивності обробки (зменшення частки допоміжного часу) та інтенсифікація режимів різання: на токарних верстатах – у 2–3 рази; на фрезерних верстатах – у 3–4 рази; на оброблювальних центрах (ОЦ) – у 5–6 разів;
- зменшення собівартості обробки (підвищення продуктивності, зменшення вимог до кваліфікації робітників, зменшення витрат на пристрої);
- можливість багатOVERSTATного обслуговування верстатів з ЧПК;
- зменшення обсягу розмічувальних робіт та можливість швидкого переналагодження верстатів.

Недоліки верстатів з ЧПК:

- низька надійність систем програмного керування (верстати з жорсткими кінематичними зв'язками більш надійні);
- висока вартість верстатів з ЧПК;
- необхідність надто високої кваліфікації ремонтників та налаштовувачів;
- необхідність спеціальної підготовки технологів;
- низька завантаженість верстатів з ЧПК (верстати повинні працювати у 2–3 зміни).

Верстати з програмним керуванням за конструкцією системи керування поділяються на верстати з цикловим та числовим керуванням.

Системи циклового програмного керування (ЦПК) дозволяють запрограмувати послідовність та швидкість переміщень рухомих органів верстата. Програма задається шляхом набору комутуючих елементів (штеке-

рів, перемикачів) на панелі керування або на штекерному барабані. Величина переміщень рухомих органів визначається переналагоджуваними електроопорами. Налагодження верстата з ЦПК потребує значного часу. Такі верстати доцільно використовувати при великих партіях заготовок у середньосерійному та великосерійному виробництвах.

У системах числового програмного керування (ЧПК) програма записується на програмоносіїві (перфострічці, магнітній стрічці, магнітному диску), при цьому до складу програми входять числові значення переміщень рухомих органів верстата (основна відміна верстата з ЧПК від верстата з ЦПК).

Керуюча програма записується на програмоносіїві у вигляді окремих кадрів (блоків інформації), розділених відповідними знаками (рисунок 11.1).

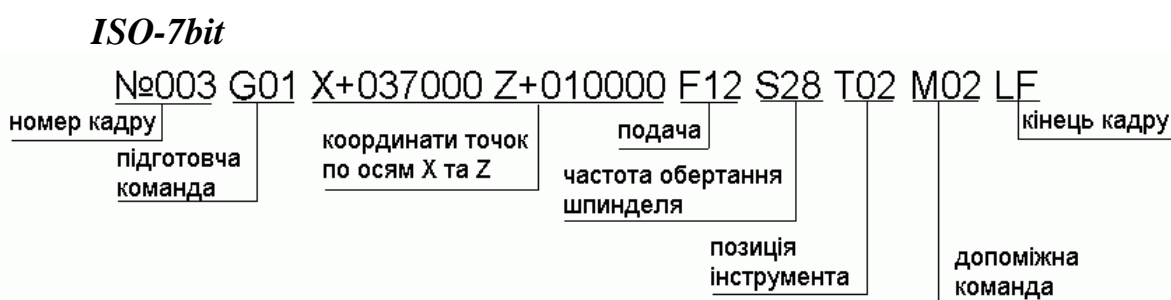


Рисунок 11.1 – Структура кадру

Вихідною інформацією для розробки керуючої програми є: креслення деталі; технологічна карта; розрахунково-технологічна карта (РТК) або схема руху інструментів при обробці.

Система ЧПК за характером керування рухами робочих органів верстата поділяється на 2 групи – позиційні (координатні) та контурні (безперервні).

Позиційне керування – це числове програмне керування верстатом, при якому переміщення його робочих органів відбувається в задані точки, причому траєкторія переміщення не задається.

Приклад: розточувальні та свердлильні верстати (іноді токарні й фрезерні); забезпечується точність переміщення, при цьому швидкості та траєкторії переміщення рухомих органів та інструмента з точністю обробки не пов'язані. (Обробка отворів на свердлильних та розточувальних верстатах; обробка канавок та фасонних поверхонь фасонним інструментом на токарних верстатах.)

Контурне керування – це числове програмне керування верстатом, при якому переміщення його робочих органів відбувається за заданою траєкторією та із заданою швидкістю для отримання необхідного контуру обробки. При цьому можливе управління спільними рухами двох або декіль-

кох робочих органів при наявності безперервного функціонального зв'язку між ними, що необхідно для обробки заготовок складної форми.

Приклад: токарні та фрезерні верстаті.

Існують також 2 різновиди систем (умовно відносяться до програмних), які забезпечують часткову автоматизацію окремих елементів циклу без програмоносіїв – системи цифрової індикації положення та системи цифрової індикації з ручним введенням даних.

Індксація в позначенні моделей верстатів з ЧПК:

Ц – верстат з цифровим керуванням;

Ф1 – верстат з цифровою індексацією положення, а також з ручним введенням даних;

Ф2 – верстат з позиційною системою керування;

Ф3 – верстат з контурною системою керування;

Ф4 – верстат типу «обробних центрів» з комбінованою (позиційно-контурною) системою керування.

Для позначення конструктивних особливостей верстата, пов'язаних із способом зміни інструмента, введено додаткові індекси:

Р – зміна інструмента поворотом револьверної головки;

М – зміна інструмента з магазину.

Приклади позначень: РФ3, МФ2.

Для верстатів з ЧПК спеціального виконання ця індексація не використовується.

Системи координат верстатів з ЧПК приймаються відповідно до стандарту ISO-R841.

В основу покладена права система координат з осями X, Y, Z, які вказують додатні напрями руху інструменту відносно нерухомої заготовки (рисунок 11.2).

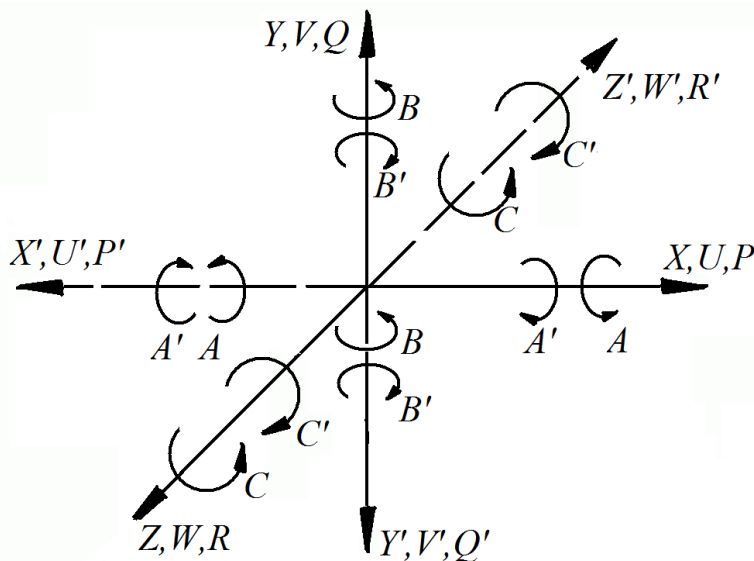


Рисунок 11.2 – Стандартні системи координат у верстатах з ЧПК

Якщо інструмент нерухомий, а відносно нього рухається заготовка, то відповідні їй додатні переміщення, спрямовані в протилежні боки, позначаються літерами X' , Y' , Z' .

За додатні напрями переміщень рухомих органів приймають такі їх переміщення, при яких інструмент і заготовка віддаляються одне від одного.

При розташуванні системи координат у просторі вісь X завжди розташовують горизонтально, а вісь Z суміщають з віссю обертання інструмента. Лише у токарних верстатах вісь Z співпадає з віссю обертання заготовки.

У деяких верстатах передбачено переміщення по одній й тій самій осі кількох (двох-трьох) робочих органів. Тоді використовують вторинні (U , V , W) і третинні (P , Q , R) осі (рисунок 11.3).

Колові переміщення інструмента відносно заготовки вважаються додатними при напрямі проти годинникової осі координат. Позначаються вони латинськими літерами A , B , C . При колових рухах заготовки за годинниковою стрілкою додатні напрями змінюються на зворотні, а кутові координати позначаються A' , B' , C' .

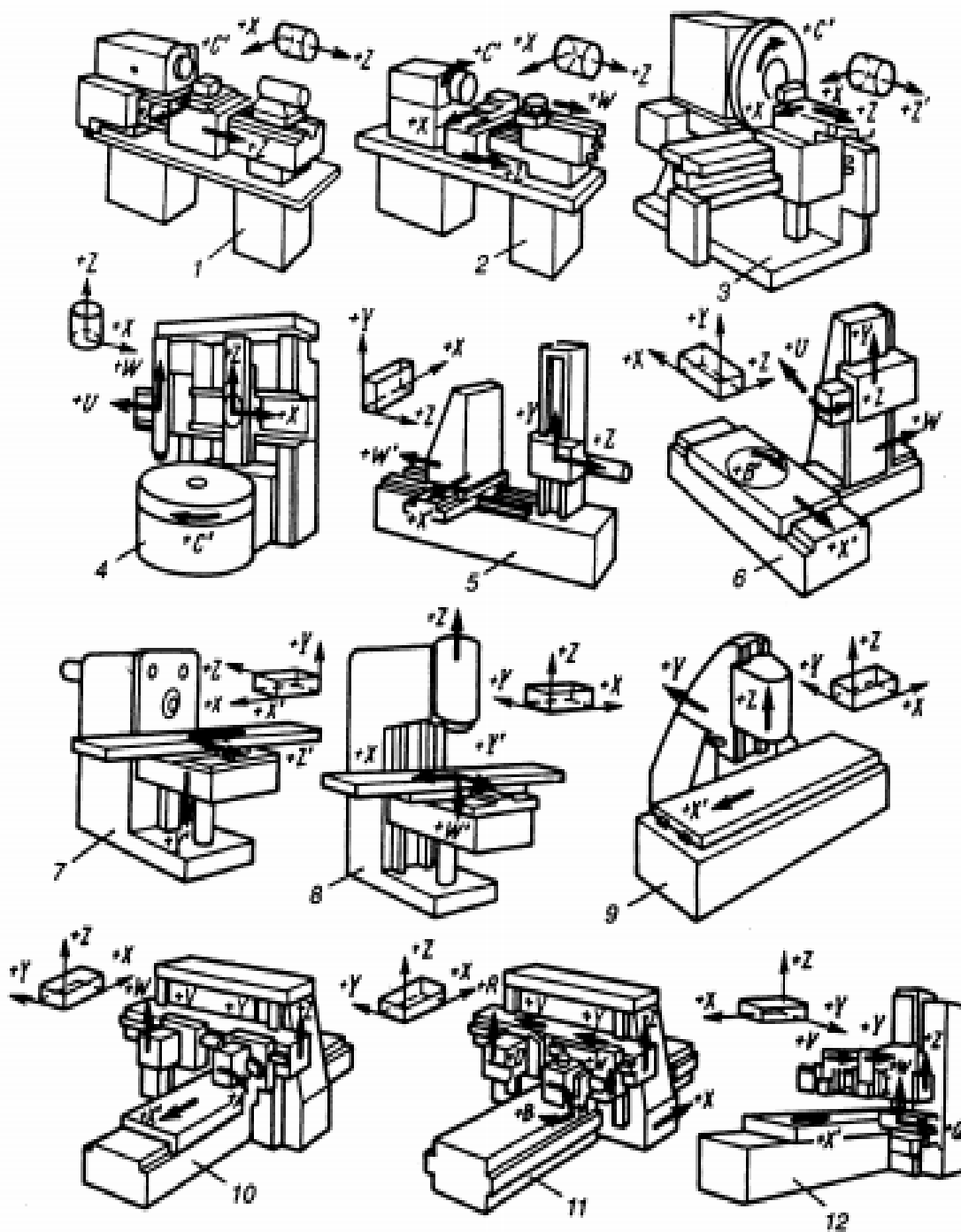
Для програмування обробки, крім напрямів осей координат, необхідно встановити спосіб і початок відліку переміщень по кожній осі. У системах ЧПК використовують два способи відліку – абсолютний і відносний (у приращеннях).

При *абсолютному способі відліку* положення початку координат фіксоване для всієї програми обробки. Переваги способу: верстат кожного разу відпрацьовує задані координати опорних точок від однієї й тієї ж точки, тому відсутній процес накопичення помилок відпрацювання переміщень та досягається висока точність позиціонування робочих органів.

У системах з *відносним способом відліку* координат нульовим щоразу приймають положення виконавчого органу, яке він мав перед початком чергового переміщення до наступної опорної точки. До програми записуються приращення координат при переході від попередньої до наступної точки. Перша опорна точка програми називається *вихідною* або *старт-точкою*. Такий спосіб використовують майже в усіх сучасних позиційних системах ЧПК. Недолік способу – накопичення помилок при обробці окремих переміщень.

Останнім часом намітилась тенденція до використання абсолютного методу відліку координат.

За *числом рухів (координат)*, які керуються, системи ЧПК бувають двох-, три-, чотири-, п'яти- і більше координатними. У позиційних системах рухи за окремими координатами можуть здійснюватись хоч і одночасно, але неузгоджено. Для контурних систем важливою характеристикою є кількість координат, які одночасно й узгоджено керуються. Проте деякі контурні системи ЧПК побудовані так, що узгоджені переміщення можливі не за всіма координатами одночасно, а тільки при відсутності руху за однією з осей координат. Такі системи позначають, наприклад, як 3,5-координатна для чотирикоординатної системи з однією неповною координатою.



1 – токарно-гвинторізний; 2 – токарно-револьверний; 3 – лоботокарний;
 4 – токарно-карусельний; 5, 6 – горизонтально-розточувальні;
 7 – консольний горизонтально-фрезерний; 8 – консольно-фрезерний
 вертикальний; 9 – поздовжньо-фрезерний вертикальний;
 10 – поздовжньо-фрезерний; 11 – поздовжньо-фрезерний з рухомим
 порталом; 12 – одностояковий поздовжньо-стругальний

Рисунок 11.3 – Загальний вигляд верстатів з числовим програмним керуванням і позначенням осей координат та напрямів рухів

11.2 Проектування технологічних процесів обробки на верстатах з ЧПК

Особливості й етапи проектування технологічних процесів. Структура технологічної операції для верстатів з ЧПК не відрізняється від структури технологічної операції на універсальних верстатах, за виключенням технологічних переходів [8, 9].

Перехід – закінчена частина технологічної операції, що характеризується сталістю інструмента й поверхонь, утворених обробкою.

Для фрезерних, свердлильних, розточувальних і фрезерно-контурних робіт розрізняють елементарні, інструментальні, позиційні й допоміжні переходи.

Елементарний перехід – безперервний процес обробки однієї елементарної поверхні одним інструментом за заданою програмою.

Інструментальний перехід – закінчений процес обробки однієї або кількох елементарних поверхонь при безперервному русі одного інструмента за заданою програмою.

Допоміжний перехід – переміщення інструмента без зняття стружки.

Позиційний перехід – сукупність інструментальних і допоміжних переходів, що виконуються при незмінних позиції, оснащенні, інструменті й програмі.

Етапи проектування ТП для верстатів з ЧПК:

- 1) аналіз вихідних даних: вивчення службового призначення й креслення деталі; аналіз діючих ТП; добір каталогів, паспортів верстатів;
- 2) класифікація деталей, формування груп деталей за спільністю конструктивно-технологічних вимог та ознак;
- 3) відпрацювання всіх деталей групи на технологічність;
- 4) розрахунок виробничої програми, партій запуску й типу виробництва для кожної деталі-представника;
- 5) розробка маршрутів виготовлення деталей-представників;
- 6) добір вихідних заготовок і прогресивних методів їх виготовлення;
- 7) добір технологічних баз і методів обробки;
- 8) визначення послідовності операцій. Добір обладнання;
- 9) розробка технологічних операцій: визначення складу технологічних переходів; добір різального інструмента, пристроїв; розрахунок припусків і режимів різання; установлення структури операції; установлення траєкторій робочих і допоміжних ходів інструмента (заготовки); розробка розрахунково-технологічної карти (РТК); нормування операції; визначення кваліфікації робітників та розрахунок завантаження обладнання;
- 10) розрахунок точності, продуктивності та економічної ефективності варіантів технологічного процесу й вибір оптимального;
- 11) оформлення технологічних документів;
- 12) розробка керуючих програм; запис програм на програмоносії; відпрацювання, коректування й впровадження керуючих програм.

Особливості досягнення точності на верстатах з ЧПК. На верстатах з ЧПК розрізняють 3 системи координат [8, 9, 23]:

1 Початок відліку верстата (*нуль верстата*) (рисунок 11.4, б) – точка з нульовим значенням положення робочих органів верстата. У цьому положенні система визначає початок відліку переміщень робочих органів верстата, які в сукупності являють собою його координатну систему.

2 Початок відліку заготовки (*нуль деталі*) (рисунок 11.4, в) – точка з нульовими значеннями системи координат деталі, відносно якої задаються її розміри й положення поверхонь.

3 Початок відліку обробки (*нуль програми, нуль циклу або нуль інструмента*) (рисунок 11.4, г) – точка, від якої починається запрограмоване переміщення інструмента. Координати її задаються відносно координатної системи деталі.

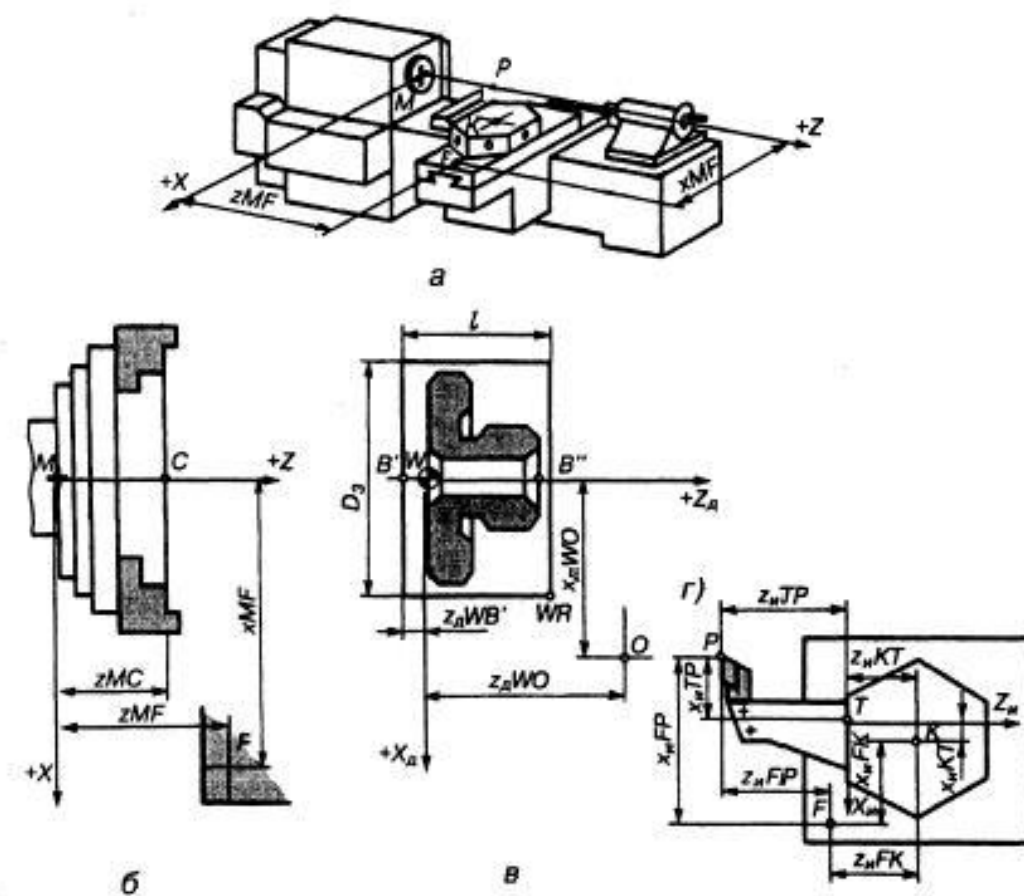


Рисунок 11.4 – Система координат при обробці на токарному верстаті

Для всіх типів верстатів формування розмірних зв'язків між зазначеними системами координат здійснюється на двох етапах – технологічної підготовки процесу і настроювання верстата.

На етапі технологічної підготовки проводять вибір системи координат деталі і перерахування розмірів, вибір вихідної точки (нуль програми) і складання керуючої програми.

При налагодженні верстата встановлюють розмірні зв'язки між вихідною точкою, що є початком програми обробки, та інструментом.

Добір деталей і аналіз їх технологічності. Загальні принципи добору деталей для обробки на верстатах з ЧПК:

а) чим вища концентрація обробки на верстаті з ЧПК порівняно з універсальним обладнанням, тим вище ефективність ЧПК;

б) чим складніша деталь, тим більшою мірою можуть використовуватись технологічні можливості верстатів з ЧПК;

в) чим більший обсяг розмічувальних і приганяльних робіт, тим вища ефективність ЧПК;

г) чим складніше оснащення при виготовленні деталі на універсальних верстатах, тим ефективніше ЧПК;

д) чим складніше контроль, тим ефективніше ЧПК.

Вимоги до технологічності деталей, що обробляються на верстатах з ЧПК, наступні:

1 Оброблювані поверхні корпусної деталі повинні зосереджуватися з чотирьох боків.

2 Деталь повинна забезпечувати можливість застосування такої схеми закріплення, яка не створює перешкод при обробці й не викликає появи пружних деформацій, що виходять за межі допустимих відхилень.

3 Довжина розточуваних з одного боку отворів не повинна перевищувати допустимої для консольної обробки на даному верстаті (5–6 діаметрів оправки, яка несе розточувальний різець).

4 При обробці на фрезерних верстатах плоских деталей усі сполучення суміжних частин контуру повинні бути по можливості однакового радіуса. Величина R повинна відповідати нормальному ряду діаметрів кінцевих фрез.

5 При обробці на будь-якому верстаті з ЧПК треба намагатись обробляти деталь з найменшою кількістю установів.

6 Корпусні деталі не повинні мати оброблюваних поверхонь, розташованих під кутом до осей координат.

7 У конструкціях корпусних деталей бажані два базові отвори, які повинні бути максимально віддалені один від одного.

8 Заготовки корпусних деталей не повинні мати різких коливань припусків на обробку, особливо ті, що потребують контурної обробки.

Технологічна переробка креслень і розрахунок координат. У залежності від способу відліку, прийнятого для обробки, виконують переробку креслень (рисунок 11.5). При абсолютному способі відліку розміри задаються від центру отвору I , що є вимірювальною базою (має координати $X = 0$, $Y = 0$). При відносному способі відліку за вимірювальну базу щоразу приймається положення інструмента, яке він займав у попередньому положенні.

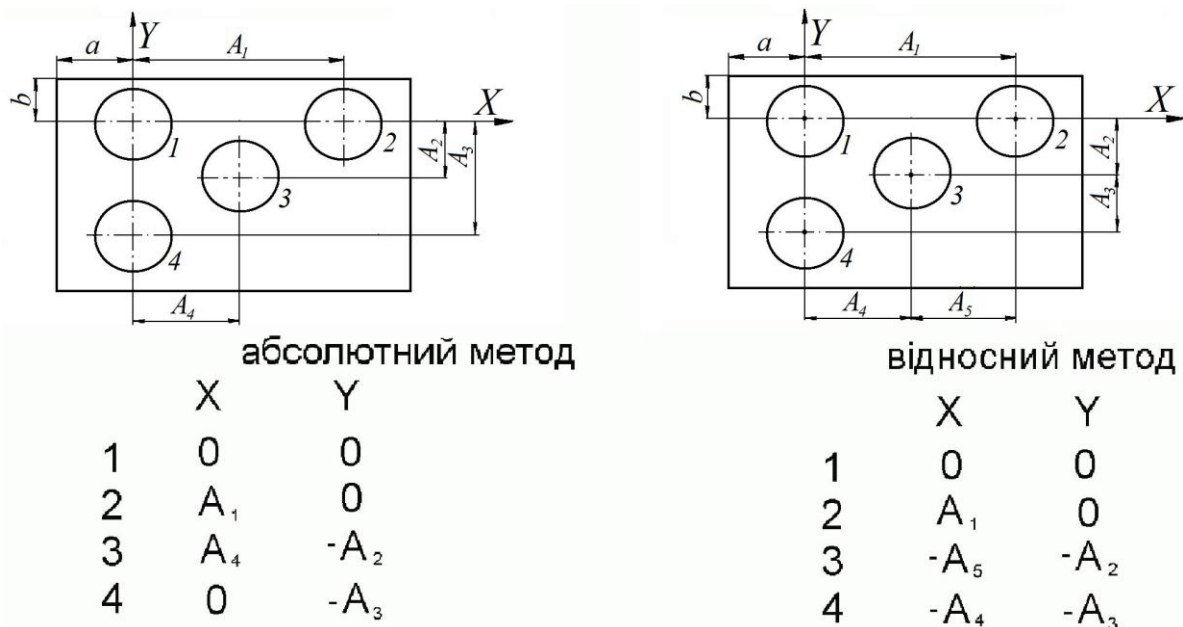


Рисунок 11.5 – Схеми проставляння розмірів

Вибір баз і розробка маршруту. Міркування, пов'язані з базуванням, у багатьох випадках є основними при встановленні маршруту обробки, який повинен забезпечити точність і економічність виготовлення деталі. При визначенні послідовності обробки заготовки слід керуватися тими ж принципами, які використовуються при побудові технологічного процесу для звичайних верстатів з урахуванням технологічних можливостей верстатів з ЧПК і специфіки обробки на них.

Формування структури операцій. Операції, що виконуються на верстатах з ЧПК, завжди містять велику кількість переходів, послідовність яких багато в чому визначає ефективність використання обладнання. Зміна інструменту, послідовність його виходу в початкові точки обробки, повороти стола, а також інші переміщення виконавчих органів верстата повинні сприяти мінімізації часу на виконання операції. Особливо це важливо для верстатів з позиційною системою керування – свердлильних, розточувальних, обробних центрів.

При обробці отворів у корпусних деталях на верстатах з позиційною системою керування структура операції може будуватися за одним із таких принципів.

1. *Принцип сталості оброблюваних отворів.* Кожний отвір обробляється повністю за всіма переходами при одному позиціонуванні стола відносно шпинделя. Після обробки одного отвору переміщують стіл або шпиндельну бабку для обробки інших отворів. Після завершення обробки усіх отворів на одному боці деталь повертають і обробляють отвори на інших боках.

2. *Принцип сталості інструмента в межах стінки.* Здійснюється обробка одним інструментом групи однакових отворів, розташованих в одній стінці. Потім у тій же послідовності обробляється група отворів ін-

шим інструментом; після обробки отворів в одному боку деталь повертається, й обробляються отвори на інших боках у такому ж порядку.

3. Принцип сталості інструмента в межах деталі. Здійснюється послідовна обробка одним інструментом кожного з однакових отворів, що знаходяться в різних стінках деталі (за рахунок її повороту). Після цього відбувається зміна інструмента, і цикл повторюється.

4. Принцип сталості групи отворів у межах деталі. Послідовна обробка здійснюється за першим переходом кожного з однакових отворів групи, розташованих у різних стінках деталі. Потім іншим інструментом за першим переходом обробляються однакові отвори другої групи, розташовані в різних стінках деталі, і т. д.

Після першого переходу в цій же послідовності отвори обробляють за іншими переходами до повної обробки деталі на верстаті.

З економічних міркувань структуру операції треба будувати таким чином, щоб забезпечувалась мінімальна кількість змін інструмента і мінімальна кількість поворотів стола.

Проте обробку отворів з точними міжцентровими відстанями доцільно виконувати всіма видами інструменту послідовно, спочатку один отвір, а потім у такому ж порядку інші.

Ступінчасті отвори з підвищеними вимогами до співвісності окремих ступенів слід обробляти з однієї установки і комбінованим інструментом.

Вибір різального інструменту. Використовується інструмент з твердосплавними пластинками з механічним кріпленням (МКП) (різці, фрези, зенкери, свердла) [17].

Фрезерування площин виконується торцевими і кінцевими фрезами. Обробка отворів виконується стандартними та комбінованими інструментами.

Як допоміжний інструмент для закріплення різальних інструментів у шпинделі та на супорті верстата використовуються оправки, втулки, патрони, блоки, державки.

Вимоги до інструменту для верстатів з ЧПК:

- висока різальна властивість;
- сприятливі умови стружкоутворення;
- стабільність якості та висока стійкість;
- можливість настройки на розмір поза верстата;
- технологічність у виготовленні й відносна простота конструкції.

Вибір верстатних пристроїв. Верстатні пристрої повинні мати підвищену точність, відкривати підхід інструмента до усіх оброблюваних поверхонь, а також допускати зміну заготовок під час роботи верстата. Використовують універсально-збірні пристрої (УЗП), універсально-налагоджувальні пристрої (УНП), збірно-розбірні пристрої (ЗРП) та ін.

Розробка розрахунково-технологічної карти. Розрахунково-технологічна карта (РТК) повинна містити дані, необхідні для налаштування верстата: схему встановлення деталі, розміри й вид інструменту, номери допоміжного інструменту (патрони, різцетримачі), положення шпин-

дельної бабки й координати положення інструменту наприкінці прискореного й робочого переміщень.

Приклад РТК для свердлильного верстата обробки у деталі типу «кришка» двох отворів діаметром 10Н8, трьох нарізних отворів М6, отвору діаметром 22 мм наведений на рисунку 11.6. Приведені вихідні координати центрів всіх отворів у системах координат деталі та верстата.

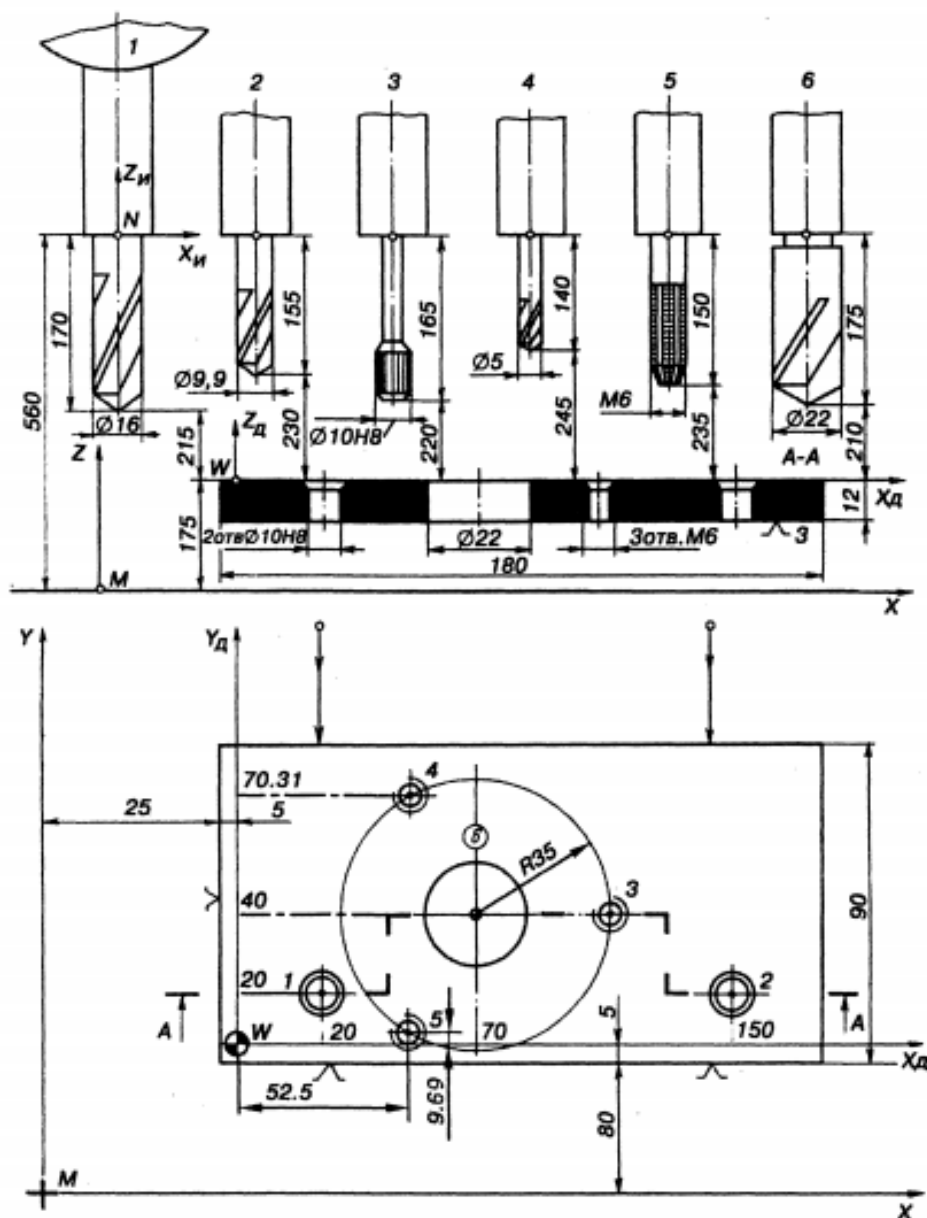


Рисунок 11.6 – РТК для обробки отворів в деталі «кришка»

До розрахунку траєкторії інструментів при свердлильній обробці спочатку визначають попередній склад переходів для кожного отвору, потім уточнюють склад переходів та загальну їх послідовність. Потім будують схеми осьових переміщень інструментів відносно опорних точок (центрів отворів) та визначають режими різання.

Наприклад, попередній склад типових переходів для обробки отворів 1–6 у деталі типу «кришка» може бути прийнятий наступним: центрування (рисунок 11.7, а, б), свердління (рисунок 11.7, в, г, ж), нарізання різі (рисунок 11.7, е) та розгортання (рисунок 11.7, д). У зв'язку з цим вибраний інструмент Т01–Т06 може бути розташований у гніздах шестипозиційної револьверної головки свердлильного верстата.

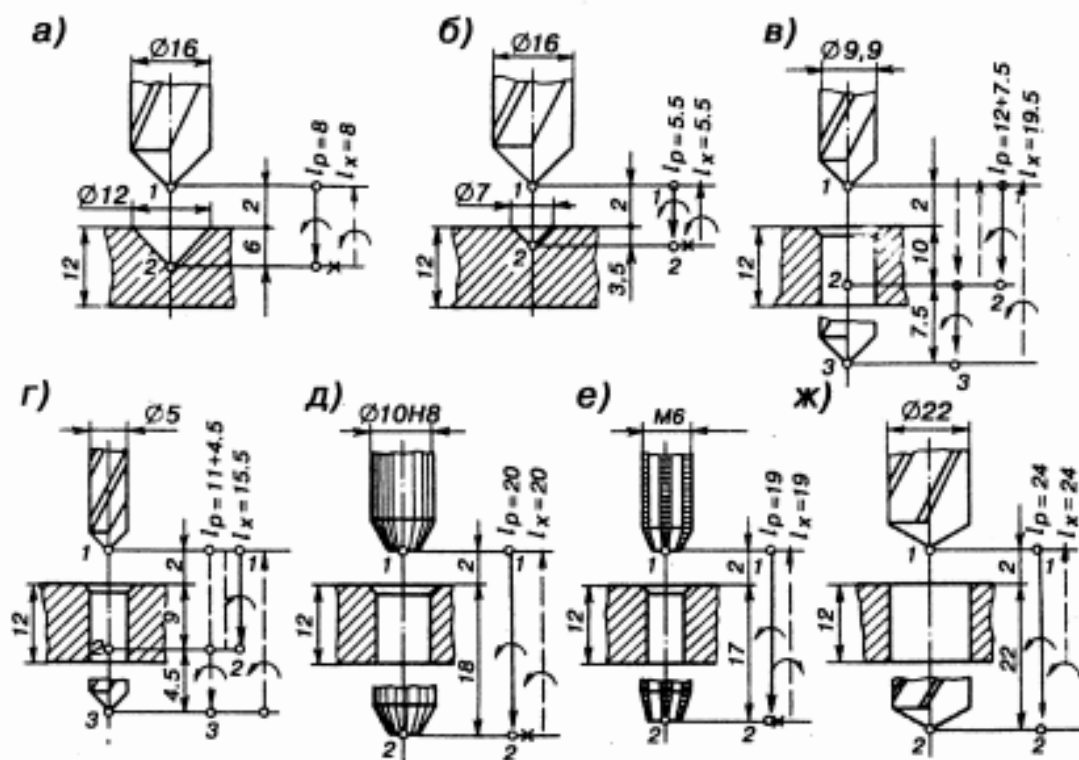


Рисунок 11.7 – Типові переходи роботи інструмента при обробці отворів у деталі типу «кришка»

Склад інструментального налагодження (по гніздах): 1) Т01 – свердло ($\varphi = 90^\circ$) діаметром 16 мм; 2) Т02 – свердло діаметром 9,9 мм; 3) Т03 – розвертка діаметром 10Н8; 4) Т04 – свердло діаметром 5 мм; 5) Т05 – мітчик М6; 6) Т06 – свердло діаметром 22 мм.

Установлення режимів різання і нормування. Вибір режимів різання рекомендується виконувати за довідниками. При цьому треба врахувати, що при обробці на верстатах з ЧПК періоди стійкості інструментів приймають меншими, а режими обробки – більшими порівняно з обробкою на універсальних верстатах. Нормування операції виконують за нормативами.

Технологічна документація для обробки на верстатах з ЧПК.

При проектуванні технологічних верстатів для верстатів з числовим програмним керуванням розробляється наступна документація:

1) маршрутна карта (МК), використовують разом із конструкторським документом або картою ескізів;

- 2) карта технологічного процесу (КТП), використовується разом з картою налагодження інструментів і картою ескізів;
- 3) операційна карта (ОК), використовується разом з картою налагодження інструмента і картою ескізів;
- 4) карта налагодження інструмента (КНІ), використовується разом з КТП, ОК і картою ескізів (КЕ);
- 5) карта ескізів (КЕ), в якій розташовують графічні ілюстрації до операційної карти, карти технологічного процесу, маршрутної карти;
- 6) карта кодування інформації (ККІ) для запису керуючої програми до верстатів з ЧПК разом з картою ескізів.

Контрольні запитання

- 1 Назвіть галузь використання, переваги та недоліки верстатів з ЧПК.
- 2 Які особливості ураховують при проектуванні технологічних операцій обробки заготовок на верстатах з ЧПК?
- 3 Дайте визначення нуля верстата, нуля заготовки, нуля обробки.
- 4 Назвіть основні етапи технологічної підготовки виробництва для обробки заготовок на верстатах з ЧПК.
- 5 Які є особливості формування структури операції, вибору різального інструмента, технологічного оснащення для обробки заготовок на верстатах з ЧПК?

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 **Балакшин, Б. С.** Основы технологии машиностроения / Б. С. Балакшин. – М. : Машиностроение, 1982. – 520 с.

2 **Бондаренко, С. Г.** Основы технології машинобудування : навч. посібник / С. Г. Бондаренко. – Львів : Магнолія-2006, 2007. – 500 с. – ISBN 966-8340-55-х.

3 **Ковшов, А. Н.** Технология машиностроения / А. Н. Ковшов. – Л. : Машиностроение, 1982. – 320 с.

4 **Ковалевский, С. В.** Теоретические основы технологии производства деталей и сборки машин : пособие к практическим занятиям и курсовому проектированию / С. В. Ковалевский, С. Г. Онищук, Ю. Б. Борисенко. – Краматорск : ДГМА, 2009. – 68 с.

5 **Ковалевський, С. В.** Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом. / С. В. Ковалевський, М. Г. Ямпольцев, Ю. Б. Борисенко, В. І. Тулупов. – Краматорськ : ДДМА, 2006. – 56 с. – ISBN 966-7851-71-0.

6 **Колесов, И. М.** Основы технологии машиностроения : учебник для машиностроительных вузов / И. М. Колесов. – М. : Машиностроение, 1997. – 592 с. – ISBN 5-217-02692-8.

7 **Колкер, Я. Д.** Базирование и базы в машиностроении : учеб. пособ. / Я. Д. Колкер, О. Н. Руднев. – К. : Вища школа, 1991. – 100 с. – ISBN 5-11-002098-1.

8 **Лебедев, Л. В.** Технология машиностроения : учеб. для студ. высш. учеб. заведений / Л. В. Лебедев [и др.]. – М. : Академия, 2006. – 528 с. – ISBN 5-7695-2291-7.

9 **Маталин, А. А.** Технология машиностроения / А. А. Маталин. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1985. – 496 с.

10 Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Теоретические основы технологии производства деталей и сборки машин» (для студентов специальности 7.090202). Определение припусков опытно-статистическим методом / С. Г. Онищук, Ю. Б. Борисенко. – Краматорск : ДГМА, 2006. – 32 с.

11 Міжгалузеві нормативи часу на слюсарну обробку деталей і слюсарно-складальні роботи при складанні машин. Одиничне та дрібносерійне виробництво. – Краматорськ : Центр продуктивності, 2003. – 224 с.

12 Міжгалузеві укрупнені нормативи часу на роботи, виконувані на великих токарних верстатах. Одиничне та малосерійне виробництво. – Краматорськ : Центр продуктивності, 1999. – 278 с.

13 Міжгалузеві нормативи часу допоміжного, на обслуговування робочого місця, підготовчо-заключного при роботі на металорізальних верстатах. Малосерійне та одиничне виробництво. – Краматорськ : Центр продуктивності, 1996. – 380 с.

14 Міжгалузеві нормативи часу допоміжного, на обслуговування робочого місця, підготовчо-заключного при роботі на металорізальних вер-

татах. Середньосерійне та великосерійне виробництво. – Краматорськ : Центр продуктивності, 2003. – 276 с.

15 **Скворцов, А. В.** Основы технологии автоматизированных машиностроительных производств : учебник / А. В. Скворцов, А. Г. Схиртладзе. – М. : Высш. шк., 2010. – 589 с. – ISBN 978-5-06-005905-2.

16 Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова. – М. : Машиностроение, 2001. – Т.1. – 912 с. – ISBN 5-94275-014-9.

17 Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. М. Дальского, А. Г. Сулова, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 2001. – Т.2. – 944 с. – ISBN 5-217-03085-2.

18 **Руденко, П. О.** Проектування технологічних процесів у машинобудуванні : навч. посібн. / П. О. Руденко. – К. : Вища школа, 1993. – 414 с.

19 Технология машиностроения. – Т.1: Основы технологии машиностроения / под ред. А. М. Дальского. – М. : МГТУ им. Баумана, 2001. – 594 с. – ISBN 5-7038-1285-1.

20 Технология машиностроения. В 2 кн. Кн.1. Основы технологии машиностроения : учебн. пособ. / под ред. С. Л. Мурашкина. – М. : Высш. школа, 2003. – 278 с. – ISBN 5-06-004367-3.

21 Технология тяжелого машиностроения / под ред. С. И. Самойлова. – М. : Машиностроение, 1967. – 596 с.

22 **Федоров, Б. Ф.** Сборка машин в тяжелом машиностроении / Б. Ф. Федоров [и др.]. – М. : Машиностроение, 1971. – 312 с.

23 **Фельдштейн, Е. Э.** Обработка деталей на станках с ЧПУ : учеб. пособ. / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – Минск : Новое знание, 2008. – 299 с. – ISBN 978-985-475-280-8.

24 **Харламов, Г. А.** Припуски на механическую обработку : справочник / Г. А. Харламов, А. С. Тарапанов. – М. : Машиностроение, 2006. – 256 с. – ISBN 5-217-03318-5.

Додаток А
Формули для визначення основного часу

Таблиця А.1

Вид обробки	Формула для визначення основного часу t_0 , хв
1	2
Точіння, свердління, зенкерування, розточування, розгортання	$t_0 = \frac{li}{ns_o}$
<p>Фрезерування:</p> <ul style="list-style-type: none"> - циліндричними і торцевими фрезами - двохперовою фрезою з маятниковими рухами подачі - дисковою фрезою - дисковою фрезою для сегментних шпонок 	$t_0 = \frac{li}{v_s} \text{ або } t_0 = \frac{li}{s_z z n_\phi}$ $t_0 = \frac{(l_{np} - D_\phi) + (0,5 \dots 1) \text{ мм}}{S_{np}} \frac{h}{t}$ $t_0 = \frac{h + (0,5 \dots 1) \text{ мм}}{s_\epsilon} + \frac{l_{np} - D_\phi}{s_{np}}$ $t_0 = \frac{h + (0,5 \dots 1) \text{ мм}}{s_\epsilon}$
<p>Стругання і протягування:</p> <ul style="list-style-type: none"> - обробка на поперечно-і поздовжньо-стругальних верстатах - протягування - протягування шліців 	$t_0 = \frac{b + b_1 + b_2}{n_{2x} s_{2x}} i$ $t_0 = \frac{(L_{np} + l_g)}{1000} \left(\frac{1}{v_p} + \frac{1}{v_{d.x}} \right)$ $t_0 = \frac{L_{np} + l_g + (10 \dots 30) \text{ мм}}{1000 v_p} i$
<p>Нарізання різі:</p> <ul style="list-style-type: none"> - профільним різцем - плашками - різенарізними головками - дисковими фрезами на різьфрезерних станках - гребінчастою нарізною фрезою 	$t_0 = \frac{l_o + l_{\epsilon p} + l_n}{P n} i q$ $t_0 = \frac{l_o + l_{\epsilon p} + l_n}{P n} + \frac{l_o + l_{\epsilon p} + l_n}{P n_B}$ $t_0 = \frac{l_o + l_{\epsilon p} + l_n}{P n}$ $t_0 = \frac{l_o + l_{\epsilon p} + l_n}{P} \frac{\pi d}{\cos \alpha v_s} i q$ $t_0 = \frac{1,2 \pi d}{v_s}$

Продовження таблиці А.1

1	2
<p>Нарізання:</p> <ul style="list-style-type: none"> - зубонарізання циліндричних коліс дисковою модульною фрезою - зубонарізання черв'ячною фрезою - зубодовбання - зубостругання - зубошевінгування 	$t_o = \frac{B+l_{ep}+l_n}{v_s} z_p^i$ $t_o = \frac{l_3 m_g + l_{ep} + l_n}{s_o n_{\phi} m_g z_{\phi}} z_p^i$ $t_o = \frac{h_3}{s_p n_{2x}} + \frac{\pi m z_p}{s_k n_{2x}} i$ $t_o = \pi m z_p \left(\frac{1}{n_{2x} s_k} \frac{1}{v_{sob}} \right) + 0,12 z_p$ $t_o = \frac{(l_3 + l_{ep} + l_n) z_p z_i}{n_{шев} z_{шев} s_{np} s_{\epsilon}} K$
<p>Шліфування:</p> <ul style="list-style-type: none"> - з поздовжньою подачею - врізанням - плоске периферією круга - плоске торцем круга - різі однопрофільним кругом - різі багатпрофільним кругом - зубів коліс методом копіювання - зубів коліс методом обкатування 	$t_o = \frac{L_{cm}}{n s_{np}} \frac{z_i}{s_{non}} K$ $t_o = \frac{z_i}{n s_{non}} K$ $t_o = \frac{B z_i}{s_{non} n_{2x} s_{\epsilon} t} K$ $t_o = \frac{z_i}{s_{\epsilon} n t} K$ $t_o = \frac{l_o + l_{ep} + l_n}{P n} \left(\frac{z_i}{s_{non}} + m_g \right)$ $t_o = \frac{\pi d n_3}{1000 v_3}$ $t_o = \frac{2 L_{cm} i \alpha_D}{1000 v_{cm}} z_p$ $t_o = \left(\frac{l_3 i}{n s_{np}} + i \tau \right) \frac{z_p}{m_g}$

Продовження таблиці А.1

1	2
Хонінгування	$t_o = \frac{z_i}{s_p n}$
Накатування шліців	$t_o = \frac{L_{uu} + l_n}{v_3}$

Примітки:

1. Позначення: l – розрахункова довжина робочого ходу інструмента або супорта, мм; lg – довжина поверхні, що протягується, мм; l_o – довжина нарізуваної різі, мм; l_{vp} – довжина врізання різального інструмента, мм; l_n – перебіг різального інструмента, мм; l_3 – довжина нарізуваного зуба, мм; L_{np} – довжина робочої частини протяжки, мм; L_{cm} – довжина ходу стола верстата, мм; P – крок нарізуваної різі, мм; i – число робочих ходів; n – частота обертання шпинделя, хв^{-1} ; n_ϕ – частота обертання фрези, мин^{-1} ; n_e – частота обертання при допоміжному ході, хв^{-1} ; n_{2x} – число подвійних ходів за 1 хв, подв.хід/хв ; n_{uee} – частота обертання шевера, хв^{-1} ; n_3 – частота обертання заготовки при нарізанні різі, хв^{-1} ; s_{2x} – подача за один подвійний хід стола, мм/подв.хід ; s_o – подача на оберт, мм/об ; v_s – швидкість руху подачі, мм/хв ; s_z – подача на зуб фрези, мм/зуб ; s_{np} – поздовжня подача, мм/об ; s_{non} – поперечна подача круга за один робочий хід, мм/роб.хід ; s_e – вертикальна подача, мм/об ; s_p – радіальна подача за подвійний хід, мм/подв.хід ; s_k – кругова подача зубчатого колеса за подвійний хід довбача, мм/подв.хід ; v_{sob} – швидкість руху подачі в зворотному напрямку, мм/хв ; b – ширина поверхні, що стругається, мм; b_1 – врізання різця, мм; b_2 – перебіг різця, мм; B – ширина циліндричного зубчатого вінця, мм; z – кількість зубів фрези; z_ϕ – кількість заходів фрези; z_p – розрахункова кількість зубів коліс; z_{uee} – кількість зубів шевера; z_i – припуск на сторону оброблюваної поверхні, мм; h – глибина різання або канавки нарізуваної западини, мм; h_3 – висота зуба, мм; D_ϕ – діаметр фрези, мм; d – зовнішній діаметр нарізуваної заготовки, мм; v_p – швидкість різання (робочого ходу), м/хв ; $v_{o.x}$ – швидкість допоміжного ходу, м/хв ; v_3 – швидкість врізання заготовки, м/хв ; q – кількість заходів різі; τ – час на переключення і ділення; α – кут падіння гвинтової лінії, \dots° ; $\alpha_d = 1,3\dots 1,5$ – коефіцієнт, що враховує час ділення, тобто повороту колеса на один зуб; m – модуль; m_g – кількість одночасно нарізуваних коліс або оброблюваних деталей; K – поправний коефіцієнт на виходжування (зменшується зняття металу наприкінці циклу при вимкненій подачі на глибину).

2. Довжина поздовжнього ходу стола при шліфуванні на прохід $L_{cm} = l_o - (0,2\dots 0,4) B_k$ та при шліфуванні в упор – $L_{cm} = l_o - (0,4\dots 0,6) B_k$, де B_k – висота круга, мм; l_o – довжина шліфованої поверхні, мм.

3. Коефіцієнт K має наступні значення: $K = 1,1$ – при відхиленні розмірів $0,1\dots 0,15$ мм и $K = 1,7$ – при відхиленні розмірів $0,02\dots 0,03$ мм; $K = 1,1\dots 1,2$ – при шевінгуванні.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

- База** вимірjuвальна 38
- конструкторська 38
 - контактна 39
 - напрямна 41
 - настроювальна 40
 - опорна 41
 - опорно-напрямна 42
 - опорно-центрувальна 42
 - перевірна 40
 - подвійна напрямна 41
 - подвійна опорна 41
 - прихована 44
 - технологічна 39
 - технологічна чистова 45
 - технологічна чорнова 44
 - установочна 41
 - центрувальна 43
 - штучна 40
 - явна 44
- Базування** 36
- Виріб** 7
- Виробництво** масове 11
- одиничне 12
 - серійне 11
- Деталь** 7
- комплексна 158
 - типова 155
- Диференціація операцій** 124
- Керування** контурне 161
- позиційне 161
- Комплекс** 7
- Комплект** 7
- Концентрація операцій** 124
- Маршрут** технологічний 121
- Машина** 7
- Метод автоматичного отримання розмірів на налагоджених верстатах** 54
- Метод пробних ходів та промірів** 53
- Надійність** 20
- Норма часу** допоміжного 110
- на особисті потреби (відпочинок) 111
 - обслуговування робочого місця 110
 - оперативного 110
 - основного 110
 - підготовчо-заключного 109
 - технічна 109
 - технічно обґрунтована 111
 - штучного 111
- Одиниця (вузол) складальна** 7
- Операція** складання технологічна 145
- технологічна 9
- Перехід** допоміжний 10
- складальної операції 145
 - технологічний 9
- Підготовка виробництва**
- конструкторська 8
 - організаційно-економічна 8
 - технологічна 8
- Площа** виробнича 8
- Позиція** 9
- Похибка базування** 49
- Приєм (елемент) складального процесу** 145
- Приєм** 10
- Принцип сполучення (єдності) баз** 45
- Принцип сталості баз** 48

- Припуск** загальний 98
 - операційний 98
 - операційний максимальний 99
 - операційний мінімальний 99
 - операційний номінальний 99
- Процес** виробничий 8
- Процес технологічний** 9
 - груповий 114
 - комплексний 115
 - одиничний 114
 - перспективний 114
 - проектний 115
 - робочий 114
 - складання 145
 - стандартний 115
 - тимчасовий 115
 - типовий 114
- Ритм випуску** 13

- Системи координат** верстатів з ЧПК 162
- Складання** непотокове 136
 - остаточне 136
 - під зварювання 136
 - попереднє 136
 - потокове 139
 - проміжне 136
 - рухоме 138
 - стаціонарне 136

- Спосіб відліку** абсолютний 163
 - відносний 163
- Такт випуску** 12
- Технологічність конструкції виробу** 23
 - виробнича 23
 - експлуатаційна 23
 - ремонтна 24

- Установ** 9

- Хід допоміжний** 10
 - робочий 10

- Якість поверхні** 88
 - продукції 20

