Ю.Ю. ЖИГУЦ, В.Ф. ЛАЗАР

РОЗМІРНЕ І МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ

РОЗМІРНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Частина 2

посібник для студентів
вищих навчальних закладів

УжНУ

Ужгород
Мукачево

2019

1-12-659

УДК 504.06:577.4

Жигуц Ю.Ю., Лазар В.Ф. Розмірне і математичне моделювання та аналіз. Частина 2. Розмірний аналіз технологічного процесу механічної обробки. – Ужгород, Мукачево: Інвазор, 2019. − 112 с.

Посібники для підготовки дисципліни «Розмірне і математичне моделювання та аналіз» складається з чотирьох частин. Перша і друга частини розглядають розділи, які стосуються розмірного аналізу деталей та конструкцій, розмірного аналізу технологічних процесів механічної обробки, третя частина пов'язана з аналізом і розрахунком розмірних ланцюгів з використанням САПР, четверта – охоплює розділи «Математичне моделювання та аналіз виробничих процесів». Посібник призначений для студентів природничого напрямку підготовки денної та заочної форм навчання і відповідає робочій навчальній програмі дисципліни.

Посібник буде корисним студентами технічних та економічних спеціальностей при вивченні дисципліни «Розмірне і математичне моделювання та аналіз», виконанні розрахунково-графічних робіт, курсового, кваліфікаційного бакалаврського та магістерського проектування. Викладений матеріал посібника може бути корисним при виконанні розрахунків спеціалістам для розроблення математичних моделей в інженерних та економічних проектах, при обґрунтуванні техніко-економічних розрахунків та розробленні технологічних процесів.

Лист підтримки Державна наукова установа «Інститут модернізації змісту освіти» Міністерства освіти і науки України (лист № 2.1/10 18-28 від 25.07.16).

Автори:

Жигуц Юрій Юрійович, *зав. кафедри ТМ ДВНЗ, "Ужгородський національний університет", док. техн. наук, проф.*,

Лазар Василь Федорович, *доц. кафедри машинобудування, природничих дисциплін та інформаційних технологій Мукачівського державного університету.*

Рецензенти:

Грицай І.Є. − *зав. кафедри технології машинобудування Національного університету "Львівська політехніка", док. техн. наук, проф.;*

Гевко Б.М. − *зав. кафедри «Технологій машинобудування» Тернопільського національного технічного університету ім. І.Пулюя, док. техн. наук, проф.;*

Сегеда Ю.М. − *доц. кафедри технології машинобудування ДВНЗ "Ужгородський національний університет", канд. физ.-мат. наук.*

ISBN978-966-8924-77-5

© Ю.Ю.Жигуц, В.Ф.Лазар 2019

УжНУ

ЗМІСТ

	ВСТУП ……..…….	6
1.	РОЗМІРНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ ……..	8
1.1.	Завдання розмірного аналізу …….	8
1.2.	Відшукання і побудова технологічних розмірних ланцюгів ……..	14
1.3.	Застосування теорії графів у розрахунках розмірних ланцюгів	20
2.	ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗМІРНІ ЛАНЦЮГИ ……..…….	25
2.1.	Розрахунок технологічних розмірних ланцюгів	26
2.2.	Розрахунок технологічних розмірних ланцюгів з діаметральними розмірами та відхиленнями від співвісності ……..	28
3.	ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РОЗМІРНИХ ЛАНЦЮГІВ ……..	39
4.	ПОБУДОВА ТА РОЗРАХУНОК РОЗМІРНИХ СХЕМ ДЛЯ ОБРОБКИ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ …….....	50
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ……..	73
	ДОДАТКИ ……..	76
	Додаток 1. Значення одиниці допуску *i* в діапазоні до 400 мм …….	76
	Додаток 2. Проектна річна програма випуску деталей за типами виробництва в механічних цехах, шт. …….	76
	Додаток 3. Наближені формули для визначення норм часу при обробці поверхні……..……	76
	Додаток 4. Таблиці економічної точності обробки на металорізальних верстатах …….....	79
	Додаток 5. Параметри шорсткості і глибини дефектного шару ……..……...	82
	Додаток 6. Середня статистична точність механічної обробки ……...…….	85
	Додаток 7. Середня статистична точність форми і розташування поверхонь при механічній обробці ……..…	92
	Додаток 8. Середня статистична точність координат і розміщення осей отворів ……..…….	96
	Додаток 9. Допуски розмірів на заготовки ……..……	98

УКРДУ

Додаток 10. Просторові відхилення поверхонь залежно від методу обробки (заготівельні операції) …… 106
Додаток 11. Середня статистична точність розташування оброблених циліндричних поверхонь відносно первинних баз на токарних операціях, мм ……. 108
Додаток 12. Середня статистична точність центрування ... 108
Додаток 13. Середня статистична точність розташування оброблених циліндричних поверхонь …… 109
Додаток 14. Точність методів механічної обробки …… 110

УжНУ МДУ

Присвячено Ніні Павлівні Жигуц

УжНУ МДУ

Беріть в руку олівець і цінним робіть папір.
Георгій Александров

ВСТУП

Розмірний аналіз технологічних процесів механічної обробки деталей і розрахунок технологічних розмірних ланцюгів с обов'язковим етапом конструювання машин, який забезпечує технологічність конструкції. Якість і трудомісткість виготовлення машин в значній мірі залежить від правильного призначення допусків на розміри деталей, які входять у складальні вузли. Зменшення допусків викликає потребу у високоточних верстатах та пристроях та збільшує час виготовлення деталей, збільшення допусків вимагає більшої кількості підгоночних робіт, що в свою чергу призводить до збільшення собівартості продукції.

Для призначення допусків на діаметральні розміри деталей існують розроблені стандарти допусків і посадок для циліндричних спряжень.

Для призначення допусків на лінійні і кутові розміри (відхилення від паралельності, перпендикулярності тощо) нормативні матеріали відсутні, що пов'язано з великою кількістю факторів виробничого і експлуатаційного характеру, які впливають на розміри цих допусків.

При розробці технологічних процесів механічної обробки деталей визначення і розрахунок технологічних розмірних ланцюгів дають можливість технологу обґрунтовано призначати припуски і допуски на операційні розміри, розміри заготівок та коригувати послідовність виконання окремих операцій і переходів з метою забезпечення завданої точності лінійних розмірів деталей.

Розмірний аналіз – це замкнений ланцюг розмірів, які визначають точність відносного розміщення осей і поверхонь однієї деталі чи декількох деталей в складальному вузлі і, відповідно, називаються подетальними чи складальними розмірними ланцюгами.

Подетальні і складальні ланцюги називають конструкторськими, оскільки вони утворюються у процесі конструювання деталей і складальних з'єднань.

Технологічні розмірні ланцюги зв'язують розміри оброблюваної деталі з ходом виконання технологічного процесу або з розмірами системи ВПІД (верстат-пристосування-інструмент-деталь). Кожен розмірний ланцюг містить складові ланки і замикаючу. Замикаюча ланка у процесі виготовлення деталі або у процесі складання формується у останню чергу, завершуючи розмірний ланцюг.

УАДНУ МДУ

На робочих кресленнях деталей розмір замикаючої ланки не вказують тому, що він отримується «сам по собі» при виконанні технологічного процесу.

У складальних розмірних ланцюгах замикаючою ланкою може бути проміжок, лінійний або кутовий розмір, точність якого вказується у технічних вимогах.

У технологічних розмірних ланцюгах замикаючою ланкою може бути розмір припуску на обробку або конструкторський розмір деталі.

Автори висловлюють глибоку подяку рецензентам і колегам кафедри технології машинобудування ДВНЗ «Ужгородський національний університет» та Луцького національного технічного університету за цінні поради, надані при роботі над посібником.

УжНУ МД

1. РОЗМІРНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ

1.1. Завдання розмірного аналізу

При виконанні технологічного процесу, наприклад, при механічній обробці, крім кінцевих поверхонь деталі утворюються поверхні заготовки та проміжні поверхні. З кожної поверхні, яка підлягає обробці, знімається шар матеріалу – припуск. Кожна новоутворена поверхня геометрично пов’язана з певними поверхнями деталі, які є базовими, розмірними зв’язками, які називаються технологічними зв’язками. При цьому базовими будуть лише ті поверхні деталі, від яких здійснюється безпосередній відлік лінійних та кутових розмірів.

Ретельне опрацьовування технології виготовлення деталі має на меті проведення розмірного аналізу всього технологічного процесу, тобто розв’язання взаємозв'язаних розмірних ланцюгів, які містять як ланки і розміри, так і міжперехідні припуски на обробку, що “пронизують” весь технологічний процес. В цьому випадку гарантується відсутність “чорних плям” на деталі, виходу розмірів за межі допусків і, зрештою, дотримання технологічної дисципліни. Останнє є неодмінною умовою виробництва високоякісної продукції.

Основним завданням, яке стоїть перед розмірним аналізом технологічного процесу, є правильне і обґрунтоване визначення проміжних та кінцевих розмірів та їх допусків під час механічної обробки деталі. При цьому встановлюють та аналізують зв’язки між операціями та переходами такого технологічного процесу у вигляді розмірних ланцюгів.

Отримані при розрахунку технологічні (операційні) розміри повинні забезпечити досягнення заданої кресленням точності виготовлення деталі. Звичайно, існує декілька варіантів маршруту обробки заготовки, а отже, пов'язаних з ними варіантів розмірної структури технологічного процесу. На практиці вибір технологом найкращого варіанта з ряду альтернативних значно ускладнюється впливом точності розмірів попередніх операцій технологічного процесу на точність технологічних розмірів подальших операцій. Для реальної деталі, як відомо, не часто вдається виконати всі конструкторські розміри так, як вони проставлені на кресленні, тобто безпосередньо від вимірювальної бази. Набагато частіше конструкторський розмір отримується через ряд взаємозв'язаних проміжних технологічних розмірів, що витримуються від інших баз. При цьому дійсна точність конструкторських розмірів буде залежати від точності декількох

УкрНУМГ

взаємозв'язаних технологічних розмірів. Саме така ситуація виникає, коли не дотримуються відомого в технології машинобудування принципу „єдності баз”.

Найбільшого поширення технологічні розмірні ланцюги отримали при проектуванні та аналізі точності:

1. технологічних процесів механічної обробки;
2. технологічних процесів складання;
3. верстатних і контрольних пристосувань;
4. верстатів і технологічних систем.

Розмірний аналіз технологічних процесів передбачає встановлення взаємозв'язків всіх точнісних параметрів деталей (похибки розмірів, форми і взаємного розташування поверхонь, величин шарів покриття тощо) від початкової заготовки до фінішних операцій шляхом побудови розмірних схем виявлення операційних розмірних ланцюгів і застосування методів їх розв'язання.

Комплексний підхід до проектування операцій отримання заготовок, механічної та термічної обробки, нанесення покриттів, при розрахунку припусків і точнісних параметрів дозволяє скоротити терміни проектування і впровадження технологічних процесів. Це одночасно зменшує витрати металу, зменшує загальну трудомісткість продукції та підвищує її якість, у кінцевому результаті призводить до отримання кращих економічних показників.

Розрізняють три типи розмірного аналізу технологічних процесів:

- аналіз нового технологічного процесу, що проектується, коли як первинний документ надається тільки креслення деталі. Мета – визначення розмірів і технічних вимог на всіх операціях;

- аналіз аналогічного технологічного процесу, коли первинним документом слугує не тільки креслення деталі, але й креслення заготовки. Крім того, можуть бути завдані й деякі проміжні операційні розміри, якщо виробництво заготовок починається раніше ніж розробка технологічного процесу механічної обробки. Метою такого аналізу є визначення невідомих операційних розмірів у технологічних переходах і операціях;

- аналіз діючого технологічного процесу, коли процес не забезпечує необхідних показників за якістю, витратами матеріалів або іншими елементами, а також для перевірки раніше спроектованого технологічного процесу. Мета аналізу – встановлення фактичних значень припусків на обробку; перевірка можливості отримання розмірів деталі, які безпосередньо не виконуються на операціях; визначення величин похибок розташування поверхонь деталей в ході технологічного процесу і запровадження шляхів його вдосконалення.

УкрНУМГ

Всі розрахунки, пов'язані з розмірним аналізом, підпорядковуються єдиній меті – більш точному прогнозуванню похибок обробки у проектних варіантах і аналіз причин розмірного браку в уже діючих технологічних процесах.

Змоделювати на етапі проектування взаємозалежність технологічних розмірів, а потім врахувати вплив їх точності на точність конструкторських розмірів можна в результаті складання і розв'язування специфічних технологічних розмірних ланцюгів.

Таким чином, можна стверджувати, що **технологічні розмірні ланцюги** – це є розмірні ланцюги, які забезпечують необхідну відстань або відносний оберт поверхонь виробу у процесі його виготовлення.

Технологічні розмірні ланцюги бувають першого і другого типу. До технологічних ланцюгів першого типу відносять розмірні ланцюги, які в технологічній системі зв'язують між собою устаткування (верстат), пристосування, інструмент і деталь (ВПІД). Приклад подібної технологічної системи наведений на рис. 1, де *В* – устаткування, верстат ($В_1$, $В_2$, $В_3$), *П* – пристосування ($П_1$, $П_2$, $П_3$, $П_4$); *І* – інструмент ($І_5$); *Д* – деталь ($А_Д$=$Д_Д$).

Замикаючою ланкою технологічного ланцюга першого типу є ланка, що знаходиться між різальною кромкою інструменту і базою (або відповідними осями). Так, в ланцюзі, показаному на рис. 1, ланка $Д_Д$ є замикаючою і належить деталі, ланки $В_1$, $В_2$, $В_3$ належать верстату (тобто становлять конструктивні елементи верстата), ланки $П_1$, $П_2$, $П_3$, $П_4$ належать пристосуванню (тобто конструктивні елементи пристосування або іншого технологічного оснащення), ланка $І_5$ належить інструменту (ширина дискової фрези). В деяких джерелах [1, 8] технологічні ланцюги першого типу прийнято називати **розмірними ланцюгами системи ВПІД**.

Зображати технологічний ланцюг першого типу можна детально (рис. 1 *а)* або спрощено (рис. 1 *б).* Таким чином виокремлюють розмірні ланцюги, які відносяться до деталі, а розміри верстата, пристосувань та інструменту заміняють загальною ланкою $А_{ВПІД}$.

Розмірний ланцюг будують для деталі, починаючи від базових поверхонь (рис. 1 *в*). Величина $А_б$ визначає розмір, що пов’язаний з похибкою базування, $А_З$ – з похибкою закріплення, $А_{нп}$ – з похибкою налагодження технологічної системи на обробку партії деталей, $А_{впщ}$ – з похибкою технологічної системи.

До технологічних ланцюгів другого типу відносять розмірні ланцюги, які зв'язують окремі операції, переходи технологічного процесу. Для того, щоб виявити технологічний ланцюг другого типу, необхідно проаналізувати весь технологічний процес виготовлення

УкрНУМГП

деталі: від операції, на якій закінчується розв'язування поставленої задачі, до початку технологічного процесу.

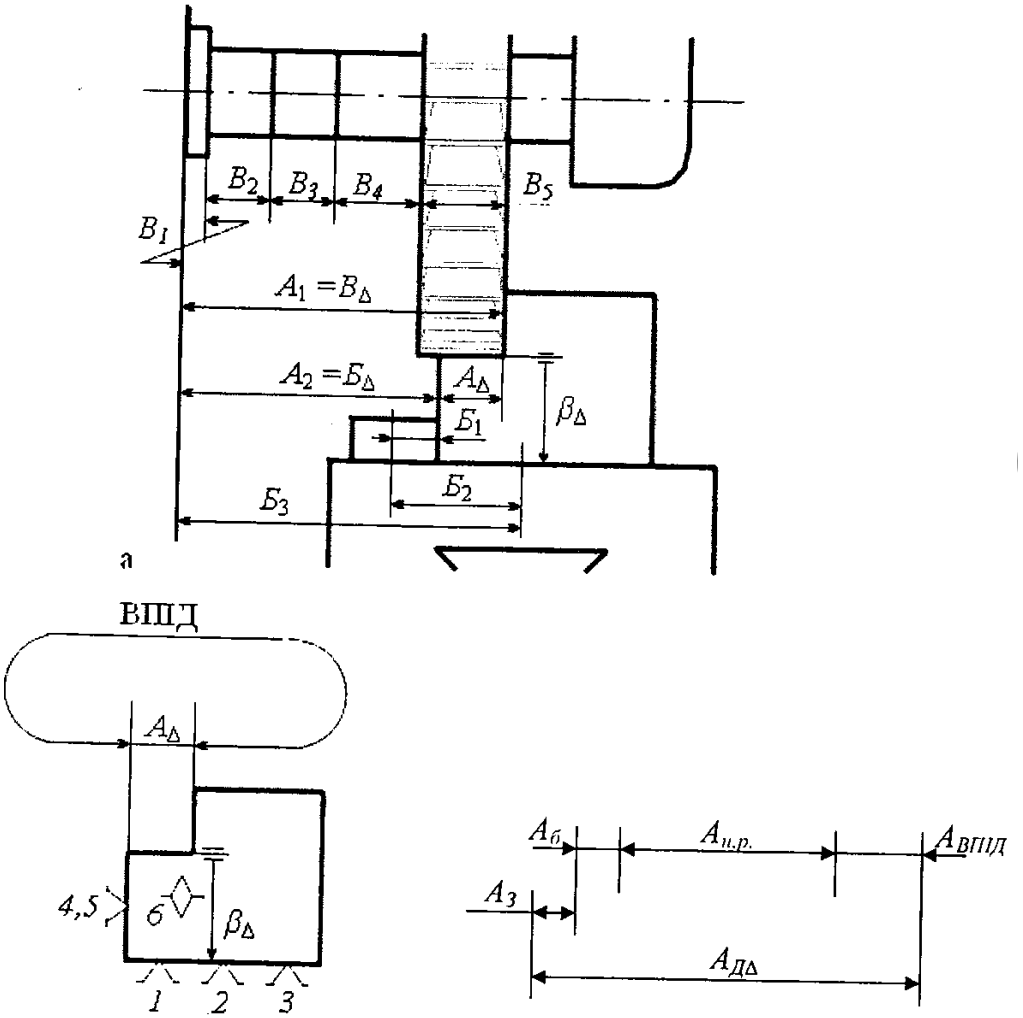


Рис. 1. Технологічний розмірний ланцюг першого роду: *а)* детальне зображення технологічного ланцюга першого роду; *б)* спрощене зображення технологічного ланцюга першого роду; *в*) спрощений розмірний ланцюг

На рис. 2 представлений аналіз технологічного процесу виготовлення валу, у якому необхідно забезпечити довжину ступеня $L=A_Д$. При виготовленні валу в розв'язуванні поставленої задачі беруть участь ланцюги першого і другого типу. До ланцюгів другого типу відносять розмірний ланцюг *А,* який пов'язує операції (переходи) отримання лівої та правої шийок валу і розмірний ланцюг *В,* який пов'язує операції (переходи) отримання однієї з шийок і торців заготовки. Розмірні ланцюги $Д_1=Д_Δ$, $B_1=B_{1Δ}$, $B_З=B_{ЗΔ}$ та *Д* – ланцюги першого типу. Прийнято називати технологічні ланцюги другого типу просто **технологічними розмірними ланцюгами**.

УКД

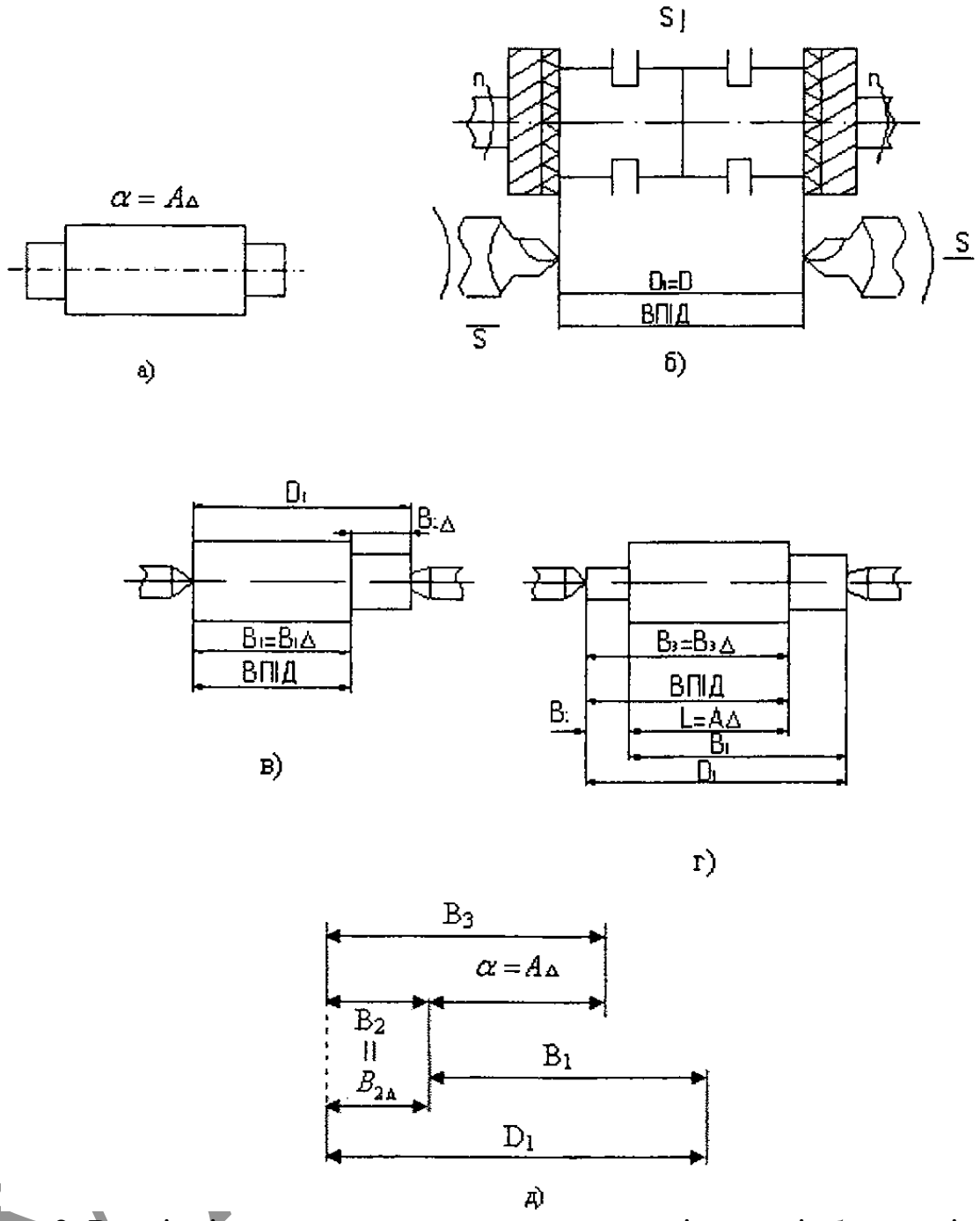


Рис. 2. Розмірні ланцюги другого типу: *а* – ескіз деталі; *б* – розмірні зв'язки першої операції; *в* – розмірні зв'язки другої операції; *г* – розмірні зв'язки третьої операції; *д* – схема розмірних зв'язків у технологічному процесу в цілому, що забезпечує точність розміру $a=A_{\Delta}$

Найчастіше у розрахунках розмірних ланцюгів доводиться розв'язувати пряму, або як ще її називають, проектну задачу. Шукані розміри, які входять у розмірні ланцюги як складові ланки, визначають з умови забезпечення заданих параметрів вихідної (замикаючої) ланки (креслярського розміру або припуску). Правильність розв'язування

прямої задачі перевіряють розв'язуванням оберненої (перевірочної) задачі.

Технологічні розмірні схеми можна розподілити в чотири групи:

1. **Схема лінійних розмірів**. Будується для розрахунку точнісних параметрів повздовжніх розмірів валів, втулок та тіл обертання, а також інших деталей за умови, що серед розмірів немає діаметрів або радіусів замкнених поверхонь (кіл). Ця схема передбачає можливість побудови ланцюгів і подальшого розрахунку розмірів.

2. **Схема діаметральних розмірів і відхилень від співвісностей.** Вона будується для розрахунку точнісних параметрів діаметральних розмірів валів, втулок, коліс та інших тіл обертання. Передбачає можливість побудови ланцюгів і подальшого розрахунку радіусів (діаметрів), а також відхилень від співвісності циліндричних поверхонь.

3. **Комбінована розмірна схема**. Побудова здійснюється для розрахунку точнісних параметрів деталей типу корпус з усіма видами поверхонь (замкнені й незамкнені). Передбачає можливість побудови і подальшого розрахунку розмірів всіх видів (між замкненими поверхнями, які координують положення та ін.). У залежності від конфігурації деталі схеми можуть бути виконані для проекцій і перетинів.

4. **Схема відхилень розташування.** Вона будується для розрахунку відхилень розташування поверхонь деталей на будь-якій стадії її виготовлення. Дозволяє виконати низку досліджень технологічного процесу, зокрема визначити коливання припусків і сил різання при обробці тощо. Крім того, результати розрахунків відхилень розташування за цією схемою дають змогу кваліфіковано здійснити проектування затискних пристосувань для встановлення деталей на верстатах.

Багаторазове складання структурної розмірної схеми та графа технологічного процесу і виявлення за її допомогою замкнених контурів технологічних розмірних ланцюгів, їх якісна оцінка та кількісний розрахунок балансу допусків складають суть розмірного аналізу технологічного процесу.

Тому вивчення методики побудови і розрахунку технологічних розмірних ланцюгів різного призначення є завершальною стадією, результати якої визначають види налагоджень, кількість операцій і переходів, вид устаткування, різального інструменту і пристосувань, контрольно-вимірювальних засобів, норм часу, кількості працівників та ін.

УжНУ МДУ

1.2. Відшукання і побудова технологічних розмірних ланцюгів

Вихідною інформацією для побудови технологічних розмірних ланцюгів є технологія обробки деталі, яка містить операційні ескізи на всі формозмінювальні операції технологічного процесу. Простежимо роботу технолога при розмірному аналізі технологічного процесу деталі типу палець (рис. 3).

На базі креслення деталі та уявлень про структуру майбутнього технологічного процесу будують операційні ескізи (рис. 4) одного або відразу декількох конкуруючих варіантів обробки деталі. Подальшим кроком є об'єднання ескізів у розмірну схему (рис. 5).

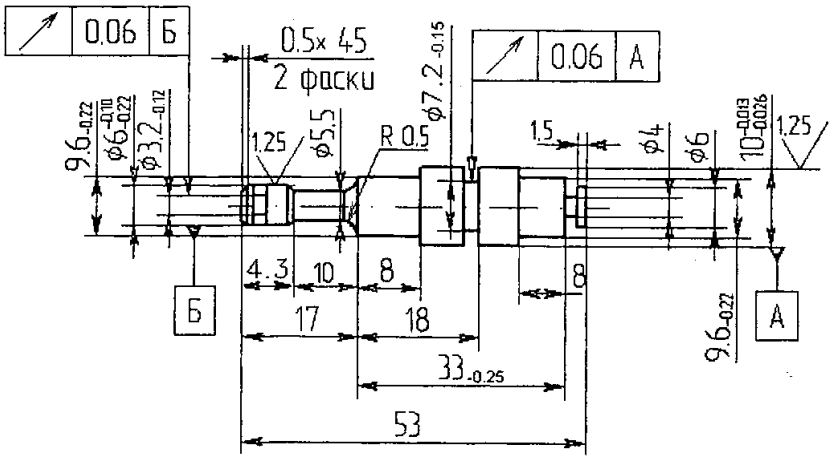
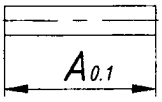


Рис. 3. Креслення деталі палець

В окремих випадках, для простої за формою деталі та для невеликої кількості операційних розмірів технологічні розмірні ланцюги можна будувати безпосередньо на вказаних ескізах. Ескіз деталі подається в одній або двох проекціях у залежності від її конфігурації. Для тіл обертання достатньо одної проекції, при цьому можна викреслити тільки половину деталі вздовж осі симетрії. Для корпусних деталей може знадобитися дві або навіть три проекції у залежності від розміщення розмірів довжин, тобто необхідно будувати відповідну кількість розмірних схем. Для вказаної деталі таких схем буде дві: для лінійних розмірів (у напрямку осі *X*) та для радіальних (діаметральних) розмірів (у напрямку осі *Y*).

Розглянемо спочатку побудову схеми **лінійних розмірів.** У загальному випадку початкову інформацію необхідно підготувати, тобто доцільно заздалегідь побудувати комплексну розмірну схему технологічного процесу (рис. 5).

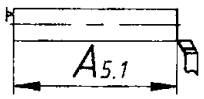
Приклад 1. Заготовка – прокат гарячекатаний підвищеної точності



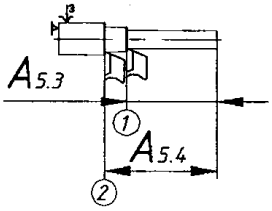
Операція 005-токарно-револьверна

Установ А

1. Підрізати торець

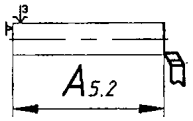


3. Точити поверхню 1 та 2

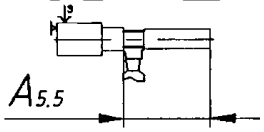


Установ Б

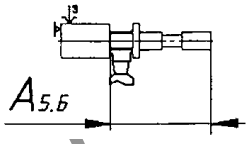
Підрізати торець



4. Точити канавку



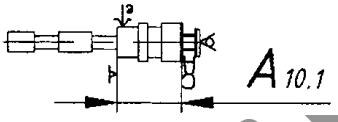
5. Точити канавки



Операція 010-токарно-гвинторізна

Установ А

1. Точити канавку



2. Точити поверхню

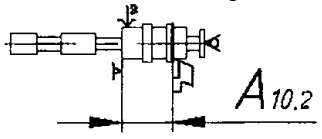


Рис. 4. Операційні ескізи механічної обробки деталі

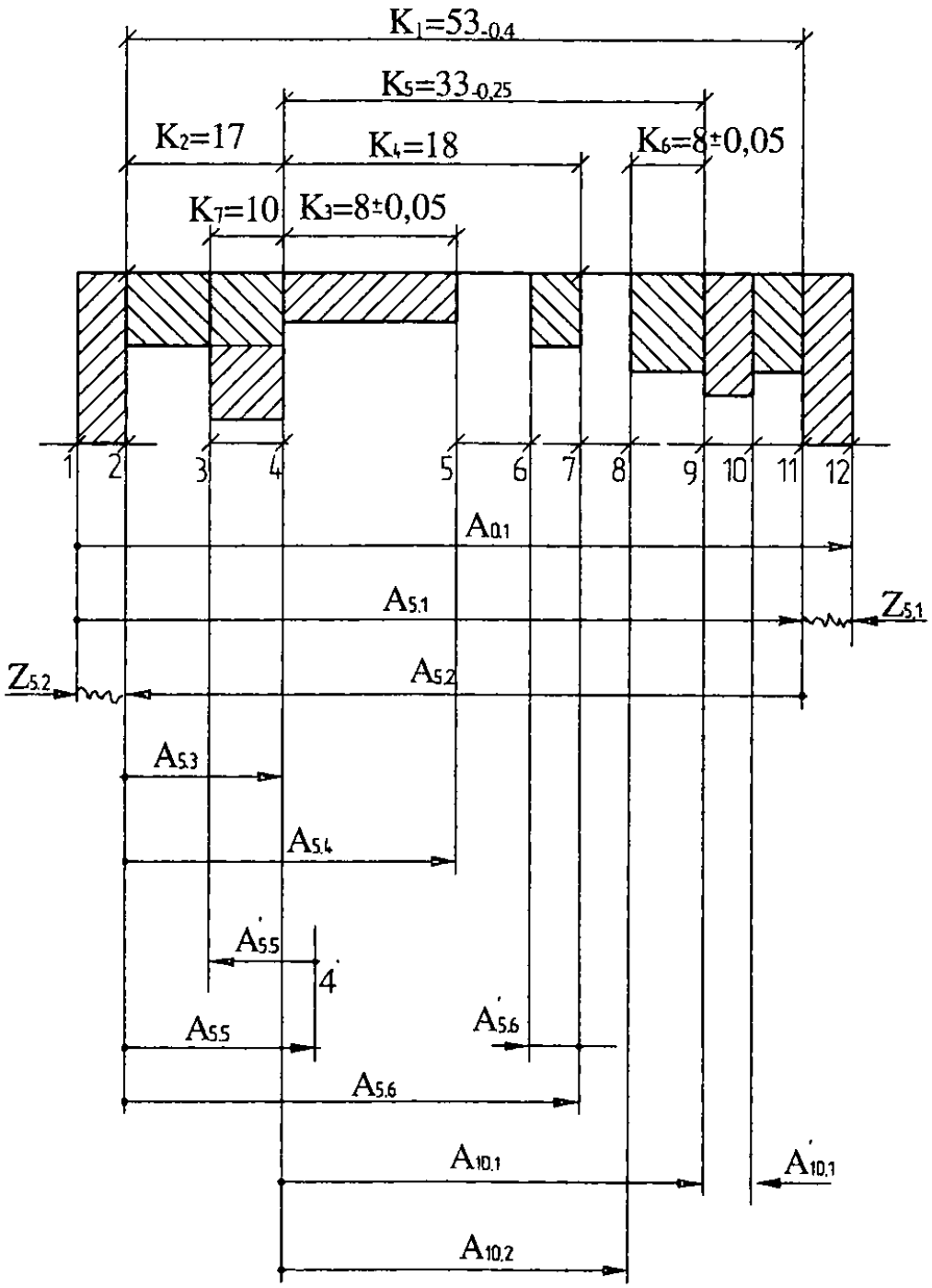
Для цього на ескіз деталі умовно наносять припуски на обробку поверхонь. В результаті одержують зовнішній контур заготовки. Над цим ескізом деталі наносять креслярські розміри з допусками, під ескізом – операційні розміри у порядку їх виконання – починаючи з розмірів заготовки і закінчуючи розмірами кінцевої обробки (рис. 5 *а).*

Для зручності складання розмірних ланцюгів конструкторські (креслярські) розміри позначаються буквою K_i з індексом, який вказує на його порядковий номер. Всі поверхні заготовки і деталі повинні бути пронумеровані зліва направо.

Якщо у завдання технолога не входить визначення розмірів заготовки і загальних припусків, тобто він має справу з вже підготовленими допусками, то під ескізом він проставляє операційні

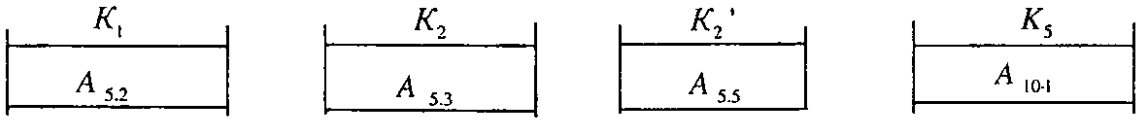
УкрНТУ

розміри в порядку їх виконання починаючи з розмірів заготовки і закінчуючи розмірами кінцевої обробки (рис. 5 *а).*

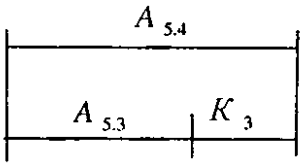


а)

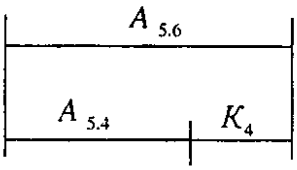
Рис. 5 (*а*). Розмірна (комплексна) схема обробки деталі “палець” вздовж її осі



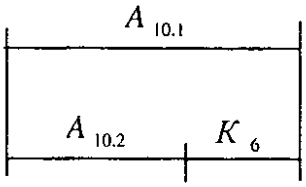
$K_1 = A_{5.2}$; $K_2 = A_{5.3}$; $K_2' = A_{5.5}$; $K_5 = A_{10.1}$.



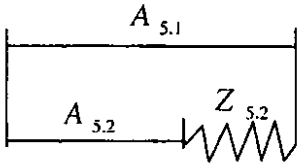
$K_3 = A_{5.4} - A_{5.3}$; $A_{5.4} = K_3 + A_{5.3}$.



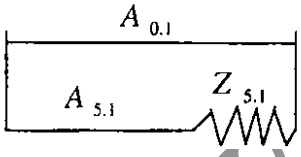
$K_4 = A_{5.6} - A_{5.4}$; $A_{5.6} = K_4 + A_{5.4}$.



$K_6 = A_{10.1} - A_{10.2}$; $A_{10.2} = A_{10.1} - K_6$.



$Z_{5.2} = A_{5.1} - A_{5.2}$; $A_{5.1} = A_{5.2} + Z_{5.2}$.



$Z_{5.1} = A_{0.1} - A_{5.1}$; $A_{0.1} = A_{5.1} + Z_{5.1}$.

б)

Рис. 5 (*б*). Розмірні ланцюги для визначення технологічних (операційних) розмірів обробки деталі “палець” вздовж її осі

Нумеруються тільки ті поверхні, що утворюються після виконання кожного технологічного переходу, а серед необроблених нумеруються тільки ті поверхні, що використовуються як технологічні бази на перших операціях. Через пронумеровані поверхні проводяться вертикальні лінії. Між цими лініями наносяться позначені літерою A_i з індексом невідомих початкових розмірів заготовки та технологічних розмірів, які виникають при механічній обробці, одержані в результаті виконання кожного технологічного переходу (операції). Вони позначаються стрілками (вектором), направленими від базової поверхні

до оброблюваної (отриманої) на цьому переході. На початку розміру ставлять крапку.

Розмір припуску показують хвилястою лінією та позначають літерою *Z*. Індекс розміру заготовки має дві цифри: перша – нуль, позначає розмір, який відноситься до заготовки, друга – порядковий номер розміру (наприклад: A_{01}, A_{02}). Індекс технологічного розміру та розміру припуску складається з номера операції, на якій цей розмір виконується, та через крапку – номер переходу (або індекс містить порядковий номер розміру, наприклад: $A_{5.1}$, $A_{10.2}$, $Z_{5.1}$, $Z_{5.2}$ або A_1, $A_{.2}$, Z_1, Z_2).

Кожний розмірний ланцюг будують відносно своєї вихідної (замикаючої) ланки. Тому в першу чергу необхідно, виходячи з поставленої задачі, встановити вихідну або замикаючу ланку. Зазвичай замикаючою ланкою технологічного розмірного ланцюга є або креслярський розмір, або припуск на обробку. Потім будують розмірний ланцюг, починаючи від одної з поверхонь (осей), що обмежують вихідну ланку, знаходять складові ланки розмірного ланцюга, які безпосередньо входять у схему розв'язку поставленої задачі, й приступають до другої поверхні (осі), яка обмежує вихідну ланку.

Після побудови розмірної схеми (рис. 5 *а*) здійснюють візуальне визначення всіх розмірних ланцюгів для визначення невідомих розмірів. Оскільки кожний розмірний ланцюг має тільки одну замикаючу ланку (конструкторський розмір або припуск), то на розмірній схемі повинно бути показано стільки ланцюгів, скільки на схемі в сумі конструкторських розмірів і припусків. На розглянутій схемі їх, наприклад, повинно бути 9 (рис. 5 *б*). При співпадінні технологічного розміру з конструкторським отримується дволанковий розмірний ланцюг. Встановлення розмірних ланцюгів за розмірною схемою починається з останньої операції, тобто за схемою зверху донизу. У такій же послідовності проводиться і розрахунок розмірних ланцюгів.

У розглянутому прикладі розмір припуску $Z_{5.1}$ буде замикаючою ланкою технологічного розмірного ланцюга. Для побудови цього ланцюга вертикалі 1-12, який є межами розмірів, продовжимо виносні лінії донизу від ескізу (рис. 5), а потім визначимо за розмірною схемою, які з операційних розмірів увійдуть до розмірного ланцюга як складові ланки. Для початку побудови ланцюга достатньо виявити два розміри, які безпосередньо стосуються замикаючої ланки $Z_{5.1}$. Розмір припуску $Z_{5.1}$ знаходиться між вертикалями 11 та 12, які слугують межами розмірів заготовки $A_{0.1}$ та операційного $A_{5.1}$ і є складовими ланками ланцюга, який безпосередньо контактує із замикаючою ланкою.

УжНУ МДУ

Відмітивши хвилястою лінією припуск $Z_{5.1}$, відкладаємо у вигляді векторів розміри складових ланок, починаючи від базової поверхні 1 (позначено початок вектора крапкою) до оброблювальної поверхні 11. Розмір заготовки, який знаходиться між 1 та 12 поверхнями, замкне цей ланцюг по контуру. Далі аналогічно будують ланцюги і відносно інших замикаючих ланок $Z_{5.2}$, $К_3$, $К_4$, $К_6$. Операційні розміри $А_{5.2}$, $А_{5.3}$, $А_{5.5}$, $А_{10.1}$ співпадають з конструкторськими розмірами $К_1$, $К_2$, $К_2'$, $К_5$ відповідно.

Напрям складових ланок по відношенню до напряму вектора замикаючої ланки має суттєве значення для визначення типу ланки, збільшувальна вона чи зменшувальна.

Визначивши технологічні розмірні ланцюги, складають їх рівняння. Щоб не припуститися помилок, рекомендується записувати розміри в порядку їх побудови, враховуючи тип ланки. У нашому прикладі:

$$Z_{5.1} = -А_{5.1} + А_{01}.$$

Рівняння виявлених технологічних розмірних ланцюгів зводяться у табл. 1.

Таблиця 1

Зведені розрахункові значення технологічних розмірних ланцюгів

№ з/п	Розрахункове рівняння	Невідома ланка	Значення розміру, мм
1	$К_1 = А_{5.2}$	$А_{5.2}$	$53_{-0,4}$
2	$К_2 = А_{5.3}$	$А_{5.3}$	$17^{+0,1}$
3	$К'_2 = А_{5.3}$	$А_{5.5}$	$17^{+0,1}$
4	$К_5 = А_{10.1}$	$А_{10.1}$	$33_{-0,25}$
5	$К_3 = А_{5.4} - А_{5.3}$	$А_{5.4}$	25±0,1
6	$К_4 = А_{5.6} - А_{5.4}$	$А_{5.6}$	43±0,1
7	$К_6 = А_{10.1} - А_{10.2}$	$А_{10.2}$	24,85±0,1
8	$Z_{5.2} = А_{5.1} - А_{5.2}$	$А_{5.1}$	$54,8_{-0,2}$
9	$Z_{5.1} = А_{0.1} - А_{5.1}$	$А0_{0.1}$	57 ±1

Для розв'язання технологічних розмірних ланцюгів необхідно спочатку визначити значення припусків та допусків на технологічні розміри.

У нашому прикладі умовно призначено мінімальне значення припуску $Z_{5.1}^{\min} = Z_{5.2}^{\min} = 2$ мм, допуск на розмір заготовки $ТА_{0.1}$=2 мм. Для інших технологічних розмірів допуск $ТА_i$=0,2 мм.

При побудові розмірних схем звертають увагу на характер шару матеріалу, який знімається з поверхні заготовки. Нагадаємо, що шар матеріалу, який видаляється з поверхні заготовки, поділяють на припуски та напуски.

Припуском називається шар матеріалу, який видаляється з поверхні заготовки з метою забезпечення необхідної якості поверхні (шорсткості, відсутності дефектного шару тощо) та точності розмірів. У нашому прикладі (рис. 5 *а*) припуски $Z_{5.1}$ та $Z_{5.2}$.

Напуском називається шар матеріалу, який призначається для спрощення конструкції деталі і видаляється з поверхні заготовки з метою забезпечення необхідної форми (конфігурації) деталі. В нашому прикладі це шар матеріалу, що формує канавки. На розмірній схемі (рис. 5 *а*) напуски позначені: $A'_{5.5}$ – канавка між поверхнями 3 та 4; $A'_{5.6}$ – канавка між поверхнями 6 та 7; $A'_{10.1}$ – канавка між поверхнями 9 та 10. Як правило, напуски формуються різальною частиною інструменту за один прохід і не входять у розмірні ланцюги.

Необхідно звернути увагу ще на одну особливість наведеної розмірної схеми (рис. 5 *а).* На схемі показано поверхню 4 та 4'. Це обумовлено тим, що на операційних переходах вказано однаковий номінальний розмір технологічного розміру: при підрізанні торця – $A_{5.3}$ та при точінні канавки – $A_{5.5}$.

Процес побудови технологічних розмірних ланцюгів можна значно полегшити і спростити, використовуючи теорію графів.

1.3. Застосування теорії графів у розрахунках розмірних ланцюгів

Математичне обґрунтування теорії графів було закладено Л.Ейлером (*Leonhard Euler*) у 1736 році й використовувалась спочатку для розв'язання задач типу лабіринту. Застосування теорії графів для технологічних процесів було запропоновано Б.С.Мордвиновим [3, 7, 11].

Граф геометричної структури. Деталь у процесі її виготовлення можна розглядати як геометричну структуру з множиною, що складається з елементарних поверхонь і геометричних зв'язків між ними. Така множина може бути описана графом, у якому елементарні поверхні приймають за вершини, а геометричні зв'язки між поверхнями приймають за ребра. Вершини у графі позначають колом (кружечком), а ребра – дугами. Ребро називається орієнтованим, якщо на ньому є стрілка, яка показує, з якої вершини воно виходить і в яку вершину входить. Якщо такої стрілки немає на ребрі, то воно називається

УкрНУМГ

неорієнтованим. Оскільки геометрична структура є поняттям просторовим, то лінійні зв'язки в ній повинні розглядатися у трьох координатних напрямках: *X, Y, Z.* Відповідно, для опису структури лінійних зв'язків необхідна побудова трьох графів за вказаними координатними напрямками. Крім того, для повного опису геометричної структури будуються три графи кутових зв'язків у координатних площинах *XOY, XOZ, YOZ.* Для геометричних структур, що складаються з тіл обертання, достатньо побудувати три графи: два – для лінійних зв'язків у напрямку координатних осей *X* і *Y* і один – для кутових зв'язків у координатній площині *XOY.*

На рис. 6. приведений ескіз деталі і його граф лінійних зв'язків у напрямку осі *X.* На графі кожна елементарна поверхня пов'язана з іншими поверхнями, тобто нанесені всі можливі геометричні зв'язки вздовж осі *X.* Такий граф називається повним графом. Як ми побачимо, для опису геометричної структури немає необхідності будувати повний граф, достатньо опису структури граф-дерева.

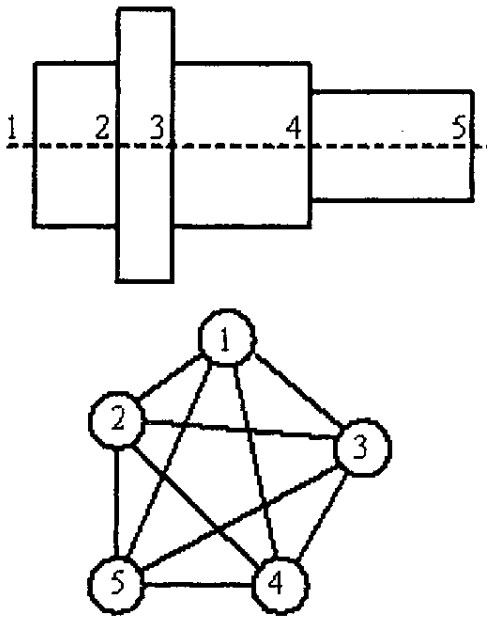


Рис. 6. Повний граф повздовжніх зв'язків

Побудова граф-дерева. Граф-деревом називається зв'язувальний граф, який не містить циклів і не має парних ребер. Пояснимо, що це означає. Циклом графа називається ланцюг розмірних зв'язків геометричної структури, який починається й закінчується в одній і тій же вершині, причому розміри в ланцюгу присутні лише один раз. Якщо декілька вершин можна з'єднати ребрами, то такі ребра називаються парними. Якщо кожну вершину можна з'єднати з будь-якою іншою вершиною певним ланцюгом, то граф називається зв'язувальним.

Для попереднього якісного аналізу варіанта технологічного процесу на підставі комплексної схеми обробки здійснюється побудова граф-дерева розмірних змін заготовки і за його допомогою полегшують виявлення рівнянь розмірних ланцюгів. У граф-дереві поверхні зображуються кружечками (вершини графа), технологічні розміри, які витримуються у процесі обробки – однобічними стрілками (ребра графа), конструкторські розміри – товстими лініями, а припуски – хвильовими лініями (дуги графа). Номери вершин графа і розміри приймаються згідно з комплексною схемою.

Для того, щоб побудувати граф-дерево, необхідно вибрати одну з вершин, яка називається коренем дерева. За вершину-корінь потрібно приймати поверхню, яка є базовою у першій операції та від якої заданий перший технологічний розмір, хоча побудову можна починати з будь-якої вершини. Від вершини-кореня відкладається однобічна стрілка – перший технологічний розмір у вибраному напрямку розрахунків на кінці якої розміщується нова вершина – поверхня, отримана при виконанні цього переходу (операції), від новоутвореної вершини проводять нові технологічні зв'язки і продовжують цей процес до тих пір, поки всі поверхні не ввійдуть у дерево як його вершини.

Розглядаючи розпочатий у п. 2 приклад, за вершину – корінь прийнято поверхню 1 (рис. 7), від неї встановлений перший технологічний розмір $A_{5.1}$, у кінці якого розміщена вершина – поверхня 11, утворена при виконанні операції 005.

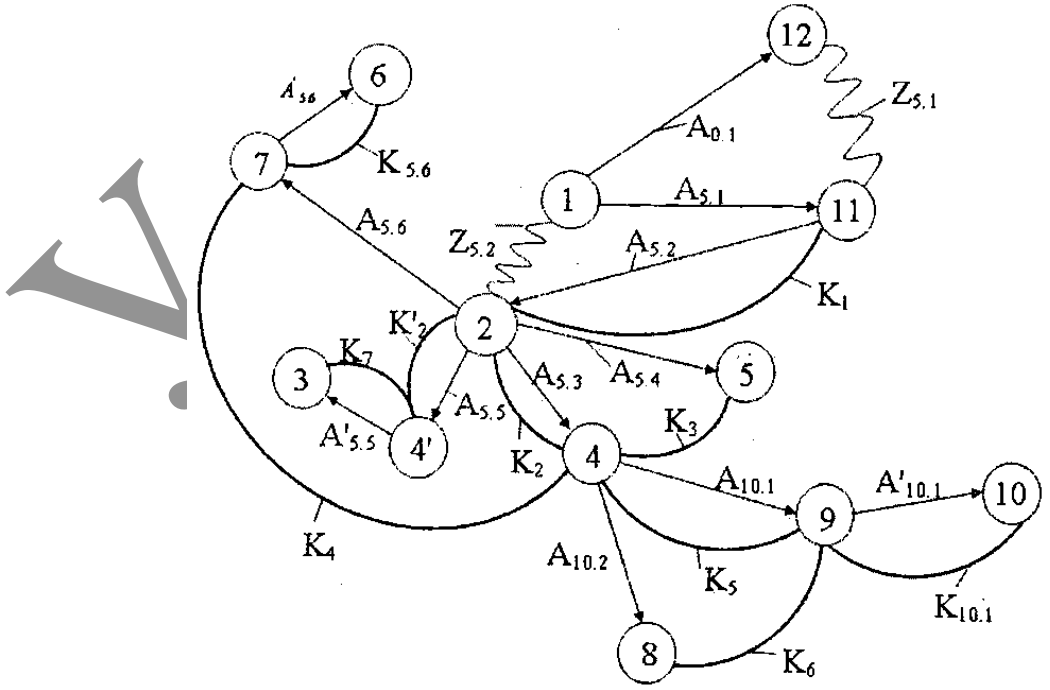


Рис. 7. Граф-дерево механічної обробки деталі «палець» вздовж її осі

Від цієї нової вершини проводяться подальші стрілки-розміри *($A_{5.2}$, $Z_{5.1}$)* до новоутворених поверхонь-вершин 2 та 11, від яких, у свою чергу, проводять стрілки-розміри і так далі. Побудова граф-дерева закінчується останнім технологічним розміром до поверхні (вершини), яка отримана в останній операції (переході). На граф-дереві також повинні бути нанесені всі поверхні (вершини) і відповідні їм розміри (ребра), що належать заготовці. Правильно побудоване граф-дерево повинне задовольняти умову: в ньому не має бути розривів і циклів (замкнених шнурів) між вершинами.

Потім на граф-дерево наносять конструкторські розміри (товстими дугами) і розміри припусків (тонкими хвильовими лініями), що з'єднують відповідні вершини (поверхні) згідно з комплексною схемою.

В результаті виходить повний граф із замкненими контурами, за якими легко скласти необхідні початкові рівняння розмірних ланцюгів для відповідних розрахунків.

Рекомендується [7, 12] спочатку будувати один граф з конструкторськими розмірами і розмірами припусків на обробку, який називається вихідним, а потім другий граф з технологічними розмірами, який називається похідним або технологічним. Після накладання одного графа на інший отримують повний граф, який утворює технологічний розмірний ланцюг. Зрозуміло, що ребра у вихідному графі будуть замикаючими ланками, а в похідному – складовими ланками. У теорії графів розмірний ланцюг – це шлях у похідному дереві, завданий ребром вихідного дерева. Щоб вказати шлях, треба встановити ребра, якими відстежується шлях. Якщо відомі довжини ребер (розміри, допуски) похідного дерева в такому ланцюзі, то можна знайти і довжину шляху, тобто розмір або допуск замикаючої ланки.

Кожен розмірний ланцюг утворює цикл, найкоротшим з яких є цикл з двох ребер. Йому відповідає дволанковий розмірний ланцюг, у якому ребро вихідного дерева (конструкторський розмір) є замикаючою ланкою, а ребро похідного дерева (технологічний розмір) – складовою ланкою.

Граф необхідний для полегшення виявлення розмірних ланцюгів, але для цього його потрібно будувати так, щоб по можливості не було перетинів ребер і дуг між собою.

Після побудови кожного граф-дерева проводиться перевірка правильності побудови.

1. Кількість вершин у кожного граф-дерева повинна дорівнювати кількості поверхонь на розмірній схемі технологічного процесу.

2. Кількість ребер у кожного дерева повинна бути однаковою і меншою на одиницю від кількості вершин.

УжНУ МДУ

3. До кожної вершини похідного дерева, крім кореневої, повинна підходити тільки одна стрілка орієнтованого ребра, а до кореневої вершини – жодної стрілки.

4. Граф-дерева не повинні мати розривів і замкнених контурів.

Існує правило, згідно з яким структура графа, а отже й розмірна схема варіанта технологічного процесу побудована правильно: сума конструкторських розмірів і припусків дорівнює сумі розмірів заготовки і механічної обробки.

Виявлення і розрахунок технологічних розмірних ланцюгів за допомогою графа починають з дволанкових ланцюгів і в такій послідовності, щоб кожний ланцюг мав лише одну невідому ланку, а інші ланки були визначені з попередніх розмірних рівнянь.

Для складання початкового рівняння розмірного ланцюга за графом користуються описаним нижче правилом за умови нумерації поверхонь на комплексній схемі у порядку послідовності їх розташування.

Вибирається напрям обходу замкненого контуру у замикаючій ланці (припуску або конструкторському розміру) від вершини з великим номером до вершини з малим номером. Якщо у напрямі обходу ланка направлена від вершини з малим номером до вершини з великим номером, то їй присвоюється знак «+», а якщо від вершини з великим номером до вершини з малим номером – знак «-».

Наприклад, за графом (рис. 7) для замкненого контуру K_6-$A_{10.1}$-$A_{10.2}$ вибираємо напрям обходу від вершини 4 до вершини 8 (на рис. 7 він позначений стрілкою), тоді рівняння розмірного ланцюга запишеться згідно з правилом: K_6-$A_{10.1}$+$A_{10.2}$=0, або після відповідних математичних операцій: K_6=$A_{10.1}$-$A_{10.2}$ (див. табл. 1).

За кількістю складових розмірів у ланцюгу можна якісно оцінити доцільність варіанта технологічного процесу. Так, наприклад, при кількості складових ланок для ланцюга із замикаючою ланкою – конструкторським розміром більше 2-х, забезпечення точності цього розміру, ймовірно, буде проблемним. Також граф дозволяє виявити помилки в технології обробки або й у кресленнях деталі (складальному кресленні виробу, вузла, машини). Зокрема, наявність розриву між вершинами або поява замкненого контура на граф-дереві вказує на відсутність необхідних розмірів у прийнятій технології обробки деталі чи на кресленні, або на наявність зайвих розмірів відповідно. Необхідно намагатись досягнути співпадіння конструкторських та технологічних розмірів, зменшити кількість складових ланок у розмірному ланцюзі.

УкрНУМЗУ

2. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗМІРНІ ЛАНЦЮГИ

2.1. Розрахунок технологічних розмірних ланцюгів

Розрахунок побудованих розмірних ланцюгів здійснюють аналогічно до розглянутих у пунктах 4 та 5 першої частини посібника розрахунків лінійних розмірних ланцюгів. У переважній більшості випадків у розрахунках технологічних розмірних ланцюгів доводиться вирішувати пряму (проектну) задачу, виявляючи встановлювані значення операційних розмірів з умови забезпечення необхідної точності конструкторських розмірів та припусків.

Необхідно відзначити, що перед розрахунком технологічних розмірів потрібно виконати дві умови. По-перше, повинна бути проведена «прив'язка» допусків всіх взаємозв'язаних технологічних та конструкторських розмірів. Мета цього полягає у тому, що сума допусків технологічних розмірів, які утворюють замикаючий розмір (якщо він безпосередньо не витримується у жодній з операцій), не повинна перевищувати допуску цього замикаючого розміру, тобто

$$\sum_{k=1}^{n+m} TA_k \le TA_\Delta . \qquad (1)$$

При невиконанні цієї умови необхідно змінити технологічний процес так, щоб виконувалась умова (1). Це досягається або в результаті використання більш точного обладнання, технологічного оснащення чи інших засобів, або – повним переглядом всього технологічного процесу обробки. За наявності декількох складових ланок можливим є зменшення допуску розміру однієї з ланок для виконання умови (1). Ці зміни зазвичай називають посиленням допусків у зв'язку із технологічними причинами.

По-друге, необхідно визначити величини мінімальних розрахункових припусків Z_{min}, використовуючи розрахунково-аналітичний або табличний методи [13, 11, с.37].

Призначивши допуски та припуски на обробку для кожного технологічного переходу, можна приступити до розрахунків технологічних розмірів, використовуючи виявлені рівняння розмірних ланцюгів, які наведені в табл. 1 (колонка 2).

Кількість ланок в технологічному розмірному ланцюзі у більшості випадків не перевищує чотирьох, тому розрахунок виконують методом максимуму-мінімуму. Якщо кількість ланок $n>5$, використовують теоретико-ймовірнісний метод.

УкрНУ МАУ

Нижче наведено порядок розрахунку технологічних розмірів.

1. Спочатку визначаються технологічні розміри, які співпадають з конструкторськими розмірами або припусками. Якщо замикаючою ланкою є конструкторський розмір, то за формулами (3, 4, 7-9) або (15 та 16 першої частини посібника) складають рівняння розмірного ланцюга відносно невідомих значень складової ланки та визначають її номінальний розмір, допуск та граничні відхилення.

У нашому прикладі (табл. 1) це розмірні ланцюги із замикаючими ланками K_1, K_2, K'_2, K_5.

Для розрахунку всіх інших технологічних розмірів у вказаній вище послідовності знаходять потрібний розмірний ланцюг і складають початкове рівняння. Наприклад, для розмірного ланцюга з замикаючою ланкою K_3, де невідомий розмір $A_{5.4}$

$$K_3=A_{5.4}\pm A_{5.3}.$$

2. Початкове рівняння переписують для мінімального значення замикаючої ланки (припуску або конструкторського розміру). Це необхідно для того, щоб потім правильно записати розрахункове рівняння, оскільки мінімальний припуск може не тільки додаватися до раніше розрахованих розмірів, згідно з виразом (6), але й відніматися від них

$$K_3^{min}=A_{5.4}^{min}\pm A_{5.3}^{max}.$$

3. Записується розрахункове рівняння, і після підстановки в нього чисельних величин розраховується одне з граничних значень (мінімальне або максимальне) шуканого технологічного розміру

$$K_3^{min}=A_{5.4}^{min}\pm A_{5.3}^{max}.$$

4. Другий граничний технологічний розмір визначається додаванням до нього (або відніманням) величини допуску згідно з (1.6)

$$A_{5.4}^{max}=K_{5.4}^{min}+TA_{5.4}=25{,}05+0{,}2=25{,}25\ мм.$$

5. За розрахованими граничними розмірами визначається номінал шуканого технологічного розміру і розподіл до нього поля допуску. На технологічні розміри, які не співпадають з конструкторськими, поле допуску відповідно до номіналу потрібно розташовувати за H – для отвору і h – для валів („у тіло деталі”). На технологічні розміри, які

УжНУ МДУ

співпадають з конструкторськими, поле допуску розташовують згідно з кресленням деталі. На розміри заготовок допуски розташовують за відповідними стандартами.

6. Після визначення технологічних розмірів їх коригують. Встановлене розрахунком номінальне значення може виявитися не цілим числом. Останні значення знаків після коми можуть бути меншими за величину допуску. Тоді розрахункову величину номінального розміру потрібно заокруглити до значення, співвимірного з величиною допуску. Наприклад, розмір 25,05 мм необхідно заокруглити до розміру 25 мм. Тоді $A_{5.4}$=25±0,1 мм. Заокруглення звичайно відбувається у бік збільшення розмірів для валів і зменшення для отворів, але це може призвести до невиправдано великого збільшення припусків і, відповідно, розмірів заготовок. Якщо заокруглення виконують у менший бік для валів (і у більший для отворів), то необхідно провести розрахунок на перевірку: чи буде достатнім після коригування значення мінімального припуску для забезпечення необхідної якості.

Отримавши граничні значення ланки на розмір, призначають допуск TA_i у залежності від технологічного переходу (чорнова чи чистова обробка). Зазвичай для чорнової обробки допуск призначають за *IT*12-*IT*14, а для чистової – за *IT*11 [6, 11, 13], використовуючи для спрощення табличні значення допусків [13, додаток 6]. Граничні відхилення призначають за *h*, *H* чи I_s (ГОСТ 25347-82) відносно номінального розміру ланки. Допуск на заготовку призначають з [13, додаток 7]. За значенням встановленого допуску TA_i та його розміщенням відносно номінального розміру встановлюють A_i за однією з формул:

$$\vec{A}i = A_i^{max} - BBA_i;$$

$$\overleftarrow{A}i = A_i^{min} - HBA_i.$$

Отримані значення ланок розмірного ланцюга аналізують з метою перевірки їх відповідності допускам та граничним відхиленням на кожен перехід механічної обробки деталі. Значення отриманих величин ланок заносять у колонку 4 табл. 1.

Якщо замість визначення Z_{min} встановлюють номінальні значення припусків згідно з ДСТУ (ГОСТ) на заготовки або за довідниками на проміжні розміри, то порядок розрахунку замикаючої ланки (припуску) зміниться. Спочатку визначається згідно з [1, формула (3)] номінальний розмір невідомої ланки, потім аналогічно до попереднього на цей розмір призначають допуск та граничні відхилення відповідного квалітету і за

УжНУМДУ

формулою (6) [1] визначаються граничні значення припуску *Z*. Після знаходження $Z_{min}<0$ здійснюють коригування номінального розміру припуску *Z*.

На основі отриманих результатів розрахунків оформляють операційні ескізи та креслення заготовки, де наносять дійсні значення технологічних розмірів, а також вказують номінальні значення припусків з верхнім та нижнім відхиленнями.

Дані необхідні для розрахунку технологічних розмірів наведені у Додатках 1-14.

2.2. Розрахунок технологічних розмірних ланцюгів з діаметральними розмірами та відхиленнями від співвісності

Розглянемо на прикладі 1 обробку отвору інструментом (рис. 8). Щоб припуск при обробці поверхні обертання (D_4) по можливості був рівномірним, положення осі обертання інструменту при налагодженні необхідно сумістити з віссю цієї оброблюваної поверхні.

У процесі обробки (нехтуючи похибками обробки) вісь оброблюваної поверхні (D_1) співпадає з віссю обертання інструменту. Таким чином, всі три осі (поверхня для обробки D_4, осі обертання інструменту і поверхні після обробки D_1) номінально повинні співпадати у процесі налагодження і обробки, отже, $D_4=D_1$ і їх різниця $D_4-D_1=Z_1=0$.

Практично ж завжди матиме місце їх неспівпадіння, яке призводить до появи неспіввісності (ексцентриситету) отворів на величину e_Δ.

Відхилення від співвісності виникають при зміщенні поверхонь внаслідок похибок базування деталей при їх механічній обробці, похибок технологічної системи, зміщень поверхонь заготовки тощо. При виготовленні заготовок причинами похибок є похибки виготовлення штампів і форм, зміщення їх частин (верхньої та нижньої частин, форми і стержня), зміщення прошивки отворів, різна товщина труб при прокатуванні і таке ін.

При механічній обробці похибки встановлення, похибки налагодження та індексації обертових пристроїв верстата при обробці обертальним різальним інструментом, похибки від пружних деформацій системи ВПІД (e_f) при знятті нерівномірного (з ексцентриситетом) припуску.

Відхилення поверхні від перпендикулярності, паралельності або співвісності позначають *n, p* та *e*, відповідно, з індексом, який вказує порядковий номер відхилення або поверхню, до якої вона відноситься.

УкрНУМЛУ

Розглянемо розв'язання оберненої задачі, коли необхідно визначити нерівномірність припуску на обробку циліндричних поверхонь, які задаються лінійними розмірами. На рис. 8 *а* наведена розмірна схема технологічного процесу обробки корпусної деталі. Для розрахунку (або перевірки) припуску на кінцеву обробку отвору необхідно знати величину нерівномірності припуску.

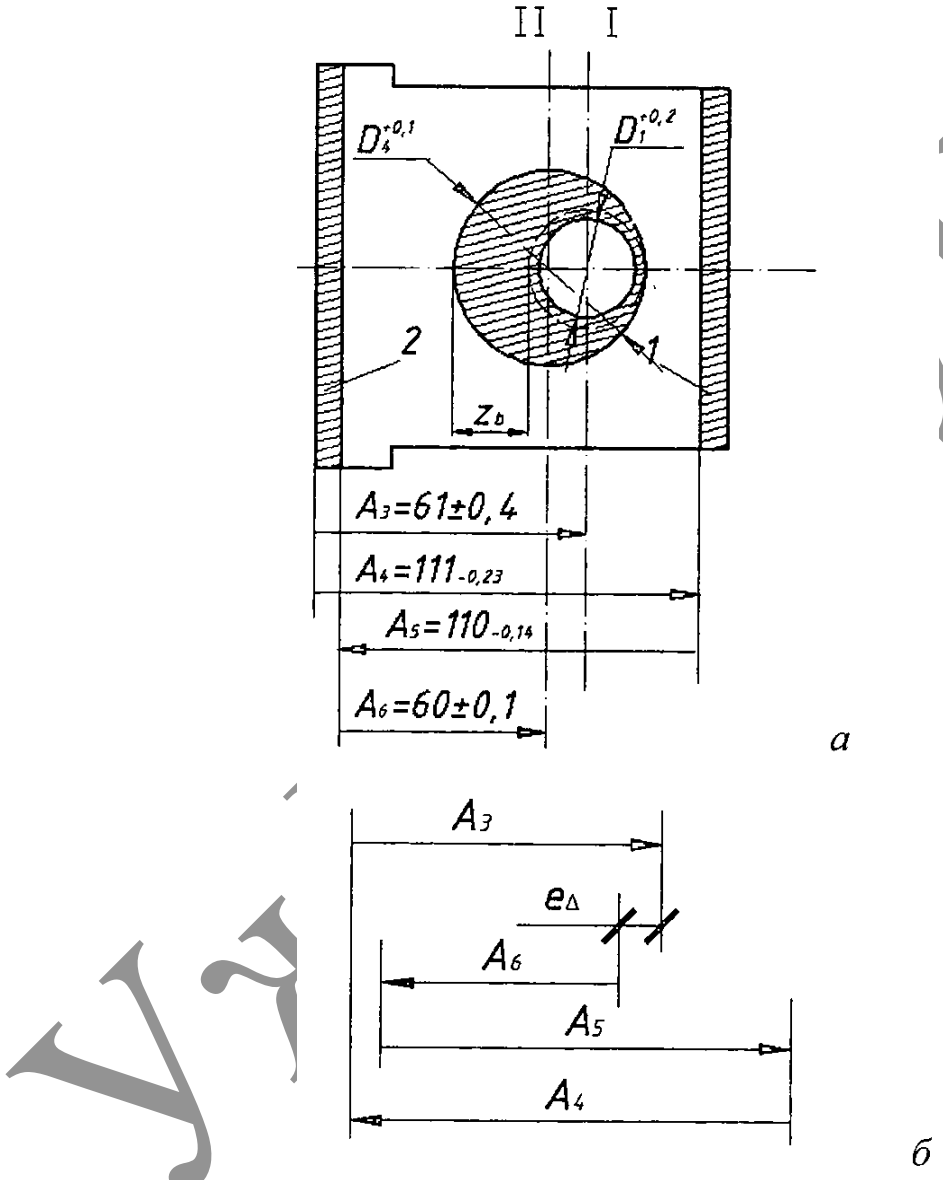


Рис. 8. Схема визначення нерівномірності припуску на обробку отвору в корпусній деталі: *а*) розмірна схема технологічного процесу, *б)* розмірний ланцюг, де A_3 і D_1 – операційні розміри попередньої обробки отвору, A_4 і A_5 – операційні розміри чистового фрезерування площин 1 і 2, A_6 і D_4 – розміри кінцевого розточування отвору

З аналізу наведених на схемі завданих операційних розмірів можна встановити, що площина I, в якій знаходиться вісь обробленого отвору

(або отвору зробленого у заготовці) і площина II, в якій знаходиться вісь отвору після кінцевого розточування, номінально співпадають. Для наочності на схемі (рис. 8, *а*) площина I показана правіше (вище) за площину II.

При розв'язанні рівнянь розмірних ланцюгів з ексцентриситетом неважливий знак цієї величини, оскільки зміщення осі може відбуватися в обидва боки і тому номінальна величина ексцентриситету рівна нулеві.

Шукана неспіввісність є замикаючою ланкою розмірного ланцюга, зображеного на рис. 8 *б.* Використаємо для розв'язанням поставленої задачі спосіб відхилень. Номінальне значення замикаючої ланки за рівнянням (3) [1]:

$$e_{\Delta}=A_3+A_5-A_4-A_6=61+110-111-60=0.$$

Верхнє і нижнє відхилення згідно з (8) [1]:

$$BBe_{\Delta}=\sum_{i=1}^{n}\overrightarrow{BBe_i}-\sum_{j=1}^{m}\overrightarrow{HBe_j}=(0,4+0)-(-0,23+(-0,1))=0,73мм;$$

$$HBe_{\Delta}=\sum_{i=1}^{n}\overrightarrow{HBe_i}-\sum_{j=1}^{m}\overrightarrow{BBe_j}=(-0,4+(-0,14))-(0+0,1)=-0,64мм.$$

Таким чином, можливі два найменш зручні поєднання крайніх значень складових розмірів. У першому випадку вісь I буде розташована правіше ніж вісь (вище) II на 0,73 мм, а в другому – зліва (нижче) на 0,64 мм.

Для розрахунку припуску необхідно знати модулі відносного зсуву осей I і II. Згідно з розрахунками $e_{\Delta}=0^{+0,73}_{-0.64}$ мм. Для визначення припуску потрібно врахувати найгірший випадок, тобто коли $e_{\Delta}^{max}=0,73$ мм. Тоді нерівномірність припуску буде становити $Z_b=2e_{\Delta}^{max}=1,46$ мм [8, с. 24].

Відповідно до рівняння (7) [1] для розглянутого прикладу отримаємо, що максимальний допуск ексцентриситету $Te_{\Delta}^{max}{}_x=0,8+0,14+0,23+0,2=1,37$ мм. При несприятливому поєднанні відхилень складових розмірів ланцюга можливе коливання допуску від $Te_{\Delta}^{min}=0$ до $Te_{\Delta}^{max}=1,37$ мм. Зрозуміло, що припуск Z_b перевищує коливання допуску. В такому випадку можливо надати рекомендацію: для зменшення нерівномірності припуску (і загальної величини припуску) необхідно забезпечити умову:

$$|Te_{\Delta}^{max}|=|Te_{\Delta}^{min}|=Te_{\Delta}/2.$$

У нашому випадку значення $Te_Д/2$=0,685 мм можна забезпечити зміною номіналу або величини граничних відхилень операційного розміру A_3. Розрахунки показують, що для цього потрібно прийняти ланку A_3=60,955±0,4 мм або $A_3 = 61^{+0,355}_{-0,455}$ мм. Відзначимо, що змінювати параметри інших складових розмірів ланцюга за рис. 8 *б* не можна: розміри A_5 і A_6 є кінцевими, а розмір A_4 визначений з умови забезпечення припуску на обробку площин 1 та 2.

У розглянутому прикладі для спрощення розв'язку умовно прийнято, що зміщення осей отворів виникає лише у вертикальній площині деталі. Якщо ж має зміщення неспіввісності і в горизонтальній площині, то необхідно крім $e_{гор}$ визначити додатково ще й значення $\epsilon_{верт}$, а потім знайти їх векторну суму:

$$e_\Delta = \overrightarrow{e_{гор}} + \overrightarrow{e_{верт}},$$

яку і прийняти при розрахунку нерівномірності припуску як кінцеву.

Похибка від пружних деформацій системи ВПІД (e_f) при знятті нерівномірного (з ексцентриситетом) припуску розраховується за формулою:

$$e_f = K_{ут} \cdot e_z,$$

де $K_{ут}$ – коефіцієнт уточнення, який, як правило, приймається рівним 0,05 [7]; e_z – ексцентриситет припуску.

Ексцентриситети у розмірних ланцюгах, замикаючі ланки яких обмежені допусками, визначають розподіленням допуску замикаючої ланки між складовими відповідно до формул (7 та 15) [1].

Приклад 2. На рис. 9 і 10 зображені комплексна схема і граф-дерево технологічного процесу виготовлення деталі. Заготовка обробляється в шести одноперехідних технологічних операціях для отримання деталі із завданими конструкторськими розмірами K_1, K_2, K_3 згідно з кресленням. У розробленому варіанті технологічного процесу при виконанні операцій повинні витримуватись технологічні розміри A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, D_7 і D_8, величини яких (в тому числі і розміри заготовки A_{01}, A_{02}, A_{03} і D_6) необхідно розрахувати.

Обробка заготовки містить такі операції:

005 – фрезерувати поверхню 10, витримуючи розмір A_1;

010 – фрезерувати поверхню 1, витримуючи розмір A_2;

УжНУ МДУ

015 – фрезерувати поверхню 4, витримуючи розмір A_3;

020 – розсвердлити отвір D_6, витримуючи розмір A_4;

025 – фрезерувати поверхню 2, витримуючи розмір A_5;

030 – зенкерувати поверхню D_7, витримуючи розмір A_6.

Побудову комплексної розмірної схеми здійснюють згідно з правилами, які викладені в п. 2, 3 та 4 (див. рис. 9) та враховуючи виникнення нерівномірності припуску при обробленні діаметральних розмірів.

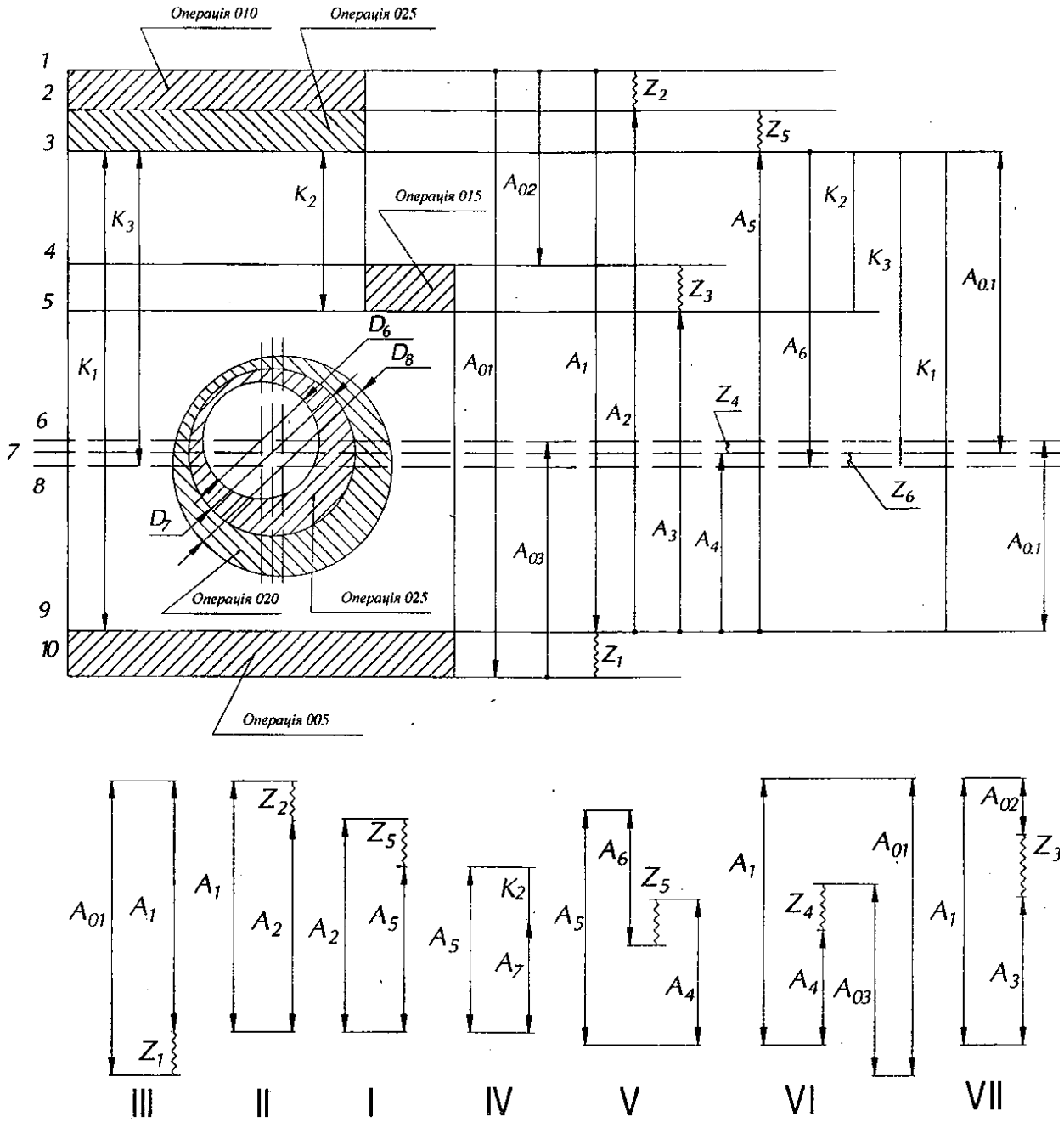


Рис. 9. Комплексна схема обробки *(а)* і окремо винесені з неї розмірні ланцюги *(б)* для розрахунку технологічних розмірів

Призначивши допуски і припуски (табл. 2 та 3) на обробку для кожного технологічного переходу, можна приступити до розрахунку технологічних розмірів.

Для цього із всіх взаємозв'язаних розмірів за комплексною схемою (і графу для перевірки) послідовно відшуковують найкоротші розмірні ланцюги, в яких повинна бути одна замикаюча ланка, а невідомою ланкою є один (і лише один!) з вишукуваних технологічних розмірів.

Наприклад, за схемою та графом (рис. 9 і 10) не можна починати розрахунок з розмірного ланцюга $Z_2=A_1-A_2$, оскільки в ньому на початку розрахунку невідомі обидві ланки *(A_1* і *A_2)*. Не можна починати розрахунок і з розмірного ланцюга $Z_2=A_1-A_{02}-A_3$, оскільки в ньому невідомі всі три ланки. Не можна складати такі розмірні ланцюги, в яких було б більше ніж одна замикаюча ланка, оскільки прості незв'язані розмірні ланцюги можуть мати тільки одну замикаючу ланку.

У нашому випадку розрахунки потрібно розпочинати з розмірів A_6 *і* A_5 *($A_6=K_3$* і *$A_5=K_1$)*, оскільки в операціях 025 і 030 безпосередньо витримуються конструкторські розміри K_3 і K_1.

Необхідно зауважити, якщо в таких випадках йдеться про рівність технологічних розмірів конструкторським, то мається на увазі, що однакові їх номінали, а допуски можуть бути посилені (жорсткіші) з технологічних міркувань.

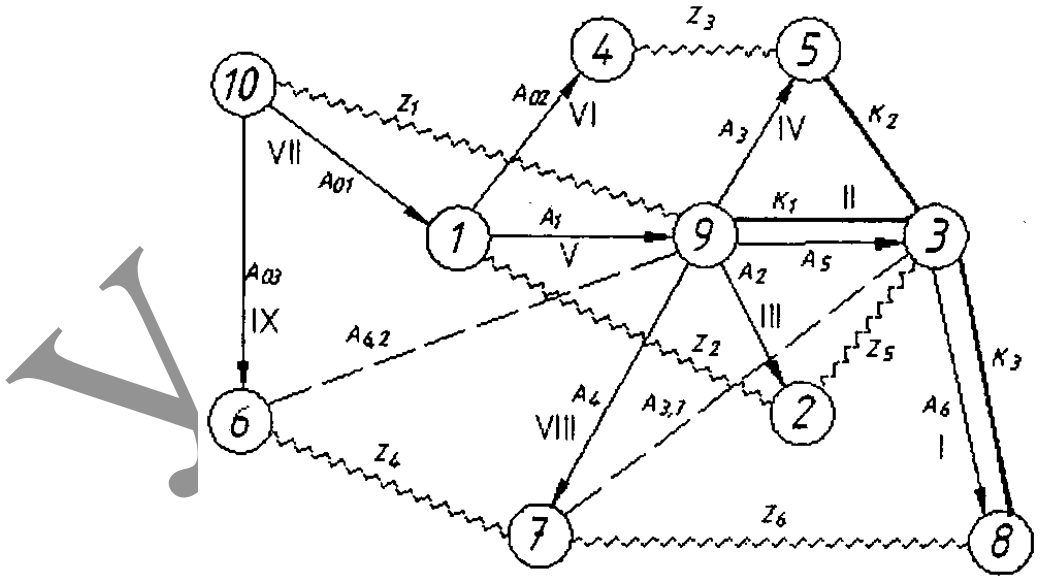


Рис. 10. Граф-дерево технологічного процесу

Потім можна розраховувати або розмір A_2 за початковим рівнянням розмірного ланцюга $Z_5=A_2-A_5$ або A_4 з початкового рівняння розмірного ланцюга $Z_6=A_4+A_6-A_5$ або A_3 з рівняння $K_2=A_5-A_3$. У всіх цих рівняннях

тільки один невідомий розмір, оскільки розміри A_5 і A_6 вже відомі. Порядок розрахунку цих розмірів довільний.

Після цього визначають розмір A_1 з $Z_2=A_1-A_2$, потім A_{01} з $Z_1=A_{01}-A_1$ і A_{02} з $Z_3=A_1-A_{02}-A_3$ (порядок їх розрахунків довільний) і нарешті A_{03} з $Z_4=A_{03}+A_1-A_{01}-A_4$. На рис. 9 порядок розрахунку вказаний римськими цифрами біля відповідних схем. Результати розрахунку технологічних розмірів зводимо у табл. 2.

Покажемо порядок розрахунку технологічних розмірів для цього прикладу.

Нехай задані конструкторські розміри деталі згідно з кресленням: $K_1=140_{-0,25}$ мм, $K_2=35_{-0,62}$ мм, $K_3=60\pm0,06$ мм, $D_8=80^{+0,074}$ мм.

На основі попередніх розрахунків прийняті допуски на технологічні розміри і мінімальні розрахункові припуски для кожного технологічного переходу, значення яких зведені у табл. 2 та 3.

Таблиця 2

Зведена таблиця допусків на технологічні розміри

Розмір A_i	A_{01}	A_{02}	A_{03}	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	D_6	D_7	D_8
Допуск T_{Ai}, мм	2,0	1,0	1,6	1,0	0,4	0,37	0,5	0,25	0,12	1,6	0,3	0,074

Розрахунок починаємо з технологічних розмірів, які співпадають з конструкторськими.

$A_6=K_3=60\pm0,06$ мм; $A_6^{min}=59,94$ мм; $A_6^{max}=60,06$ мм;

$A_5=K_1=140_{-0,25}$ мм; $A_5^{min}=139,75$ мм; $A_5^{max}=140$ мм.

Таблиця 3

Зведена таблиця мінімальних розрахункових припусків

Припуск Z_1^{min}	Z_1	Z_2	Z_3	2 Z_4	Z_5	2 Z_6
Величина, *мм*	0,8	0,7	0,7	7,6	0,28	1,6

Розмір A_2 визначиться з вихідного рівняння номіналів $Z_5=A_2-A_5$ або рівняння граничних значень $Z_5^{min}=A_2^{min}-A_5^{max}$ (див. рис. 9 та 10).

Звідки

$$A_2^{min}=A_5^{max}+Z_5^{min}=140+0.28=140,28 мм;$$
$$A_2^{max}=A_5^{min}+TA_2=140,28+0,4=140,68 мм.$$

Таким чином, розрахункове значення розміру Aj = 140,68_$_{04}$ *ММ*.

A_2=140,68-0,4 мм.

Розмір A_1 визначиться з $Z_2=A_1-A_2$ або $Z_2^{min} = A_1^{min} - A_2^{max}$ (див. розмірні ланцюги).

Тоді

$$A_1^{min} = A_2^{max} + Z_2^{min} = 140,68 + 0,7 = 141,38 \ мм;;$$
$$A_1^{max} = A_1^{min} + \delta_{A_2} = 141,38 + 1,0 = 142,38.$$

Розрахункове значення розміру A_1=142,38$_{-1,0}$ мм.

Розмір A_3 визначиться з рівняння $K_2=A_5=A_3$ або $K_2^{min} = A_5^{min} - A_3^{max}$. Звернемо увагу, що розмір A_3 визначається як конструкторський розмір, а не припуском.

Звідки

$$A_3^{max} = A_5^{min} - K_2^{min} = 139,75 - 34,38 = 105,37 \text{ мм};$$
$$A_3^{min} = A_3^{max} - \delta_{A_3} = 105.37 - 0.37 = 105 \text{ мм}.$$

Розмір A_3^{min} можна визначити і по-іншому, з виразу $K_2^{max} = A_5^{max} - A_3^{min}$:

$$A_3^{min} = A_5^{max} - K_2^{max} = 140 - 35 = 105 мм.$$

Розрахункове значення A_3=105,37$_{-0,37}$ мм.

Розмір A_{02} визначиться з вихідного рівняння $Z_3=A_1-A_{02}-A_3$ або $Z_3^{min} = A_1^{min} - A_{02}^{max} - A_3^{max}$.

Тоді

$$A_{02}^{max} = A_1^{min} - A_3^{max} - Z_3^{min} = 141,38 - 105,37 - 0,7 = 35,31 \ мм.$$

Зверніть увагу, що визначають не мінімальний, а максимальний розмір A_{02} і припуск віднімається, а не додається, як це було при розрахунку розмірів A_1 та A_2.

$$A_{02}^{min} = A_{02}^{max} - TA_{02} = 35,31 - 1,0 = 34,31 мм.$$

Розрахункове значення $A_{0,2}$=34,81±0,5 мм. Для виливки допуск розміщується симетрично відносно номінального значення.

Аналогічно виконаємо розрахунки інших технологічних розмірів та відкоригуємо їх значення (табл. 4). Отриманий розмір A_2=140,68$_{-0,4}$ мм округляємо до розміру A_2=140,7$_{-0,4}$ мм, розмір A_1=142,38$_{-1,0}$ мм до

A_1=142,5$_{-1,0}$ мм; A_{02}=34,81±0,5 мм до A_{02}=35±0,5; розмір A_3=105,37$_{-0,37}$ мм залишаємо без змін.

Округлені значення технологічних розмірів – приймаємо і проставляємо в операційних картах технологічного процесу.

Таблиця 4

Зведена таблиця розрахунків розмірних ланцюгів

№ з/п	Розрахункове рівняння	Невідома ланка	Значення розміру, мм	
			розрахункове	прийняте
1	2	3	4	5
1	$A_6=K_3$	A_6	60±0,06	60±0,06
2	$A_5=K_1$	A_5	140$_{-0,25}$	140$_{-0,25}$
3	$Z_5=A_2-A_5$	A_2	140,68$_{-0,4}$	140,7$_{-0,4}$
4	$Z_2=A_1-A_2$	A_1	142,38$_{-1,0}$	142,5$_{-1,0}$
5	$Z_2=A_5-A_3$	A_3	105,37$_{-0,37}$	105,37$_{-0,37}$
6	$Z_1=A_{01}-A_1$	A_{01}	144,18±1,0	144,2±1,0
7	$Z_3=A_1-A_3-A_{02}$	A_{02}	34,81±0,5	34,8±0,5
8	$Z_6=A_4+A_6-A_5$	A_4	79,435±0,175	79,4±0,175
9	$Z_4=A_{03}+A_1-A_{01}-A_4$	A_{03}	88,01±0,8	88±0,8

Після округлення розмірів необхідно визначити граничні значення припусків, які знімаються у процесі виконання технологічних операцій.

Припуск

$$Z_5^{min} = A_2^{min} - A_5^{max} = 140,3 - 140 = 0,3мм;$$
$$Z_5^{max} = A_2^{max} - A_5^{min} = 140,7 - 139,75 = 0,95мм.$$

Діапазон (похибка) припуску $\omega Z_5 = Z_5^{max} - Z_5^{min} = 0,95 - -0,3 = 0,65мм$ або коливання припуску можна визначити інакше:

$$\omega Z_5 = TA_2 + TA_5 = 0,4 + 0,25 = 0,65 \text{ мм}.$$

Припуск:

$$Z_3^{min} = A_1^{min} - A_{02}^{max} - A_3^{max} = 141,5 - 35,5 - 105,37 = 0,63мм;$$
$$Z_3^{max} = A_1^{max} - A_{02}^{min} - A_3^{min} = 142,5 - 34,5 - 105 = 3,0мм.$$

Діапазон (похибка) припуску:

$$WZ_2=Z_3^{max}-Z_3^{min}=3,0-0,63=2,37 \text{ мм},$$

або інакше:

$$WZ_3=TA_{02}+TA_1+TA_3=1,0+1,0+0,37=2,37 \text{ мм}.$$

Аналогічно визначаються граничні значення і діапазон припусків для інших технологічних переходів.

Зауважимо, що діапазон (похибка) припуску дорівнює сумі допусків (похибок) всіх взаємопов'язаних розмірів, які утворюють цей припуск і розраховується рівнянням (1.7) відповідно до комплексної розмірної схеми та граф-дерева.

У розглянутому прикладі з усіх взаємопов'язаних розмірів було утворено розмірні ланцюги з однією невідомою складовою ланкою.

На практиці інколи технологічні розміри задаються таким чином, що ні один з них (або декілька) на кінцевих операціях (переходах) не співпадають з конструкторськими. В таких випадках можливе утворення розмірних ланцюгів, при розрахунку яких буває дві або й більше невідомих складових ланок (технологічних розмірів). Тоді доводиться складати і розв'язувати систему рівнянь розмірних ланцюгів з декількома невідомими.

На рис. 11 зображена комплексна схема і граф технологічного процесу деталі, у відповідності до яких легко визначити тільки один технологічний розмір, що співпадає з конструкторським $A_4=K_2$. Після цього проблематично визначити інші технологічні розміри з розмірного ланцюга.

З рис. 11 можна скласти рівняння

$$K_1=A_1-A_2 \text{ та } K_3=A_1-A_2+A_3.$$

Але в цих рівняннях є три невідомі ланки. Тому складемо третє рівняння

$$Z_3=A_2-A_3$$

і розв'яжемо систему трьох рівнянь з трьома невідомими. В результаті отримаємо $K_3=K_1+A_3$, з якого визначимо A_3, а потім знайдемо A_2 та A_1. Розрахунок останніх ланок A_{01}, A_{02}, A_{03} труднощів не викликає.

У розрахунках не враховувалась похибка розмірів D, оскільки вона не впливає на точність інших ланок. Розрахунки технологічних розмірних ланцюгів з діаметральними розмірами розглянуті в прикладі

УжНУ МДУ

6. При цьому неспіввісність (ексцентриситет) буде в ролі замикаючої ланки, а їх значення у залежності від характеру його утворення вибирають з [11, додатки 6, 7 та 8].

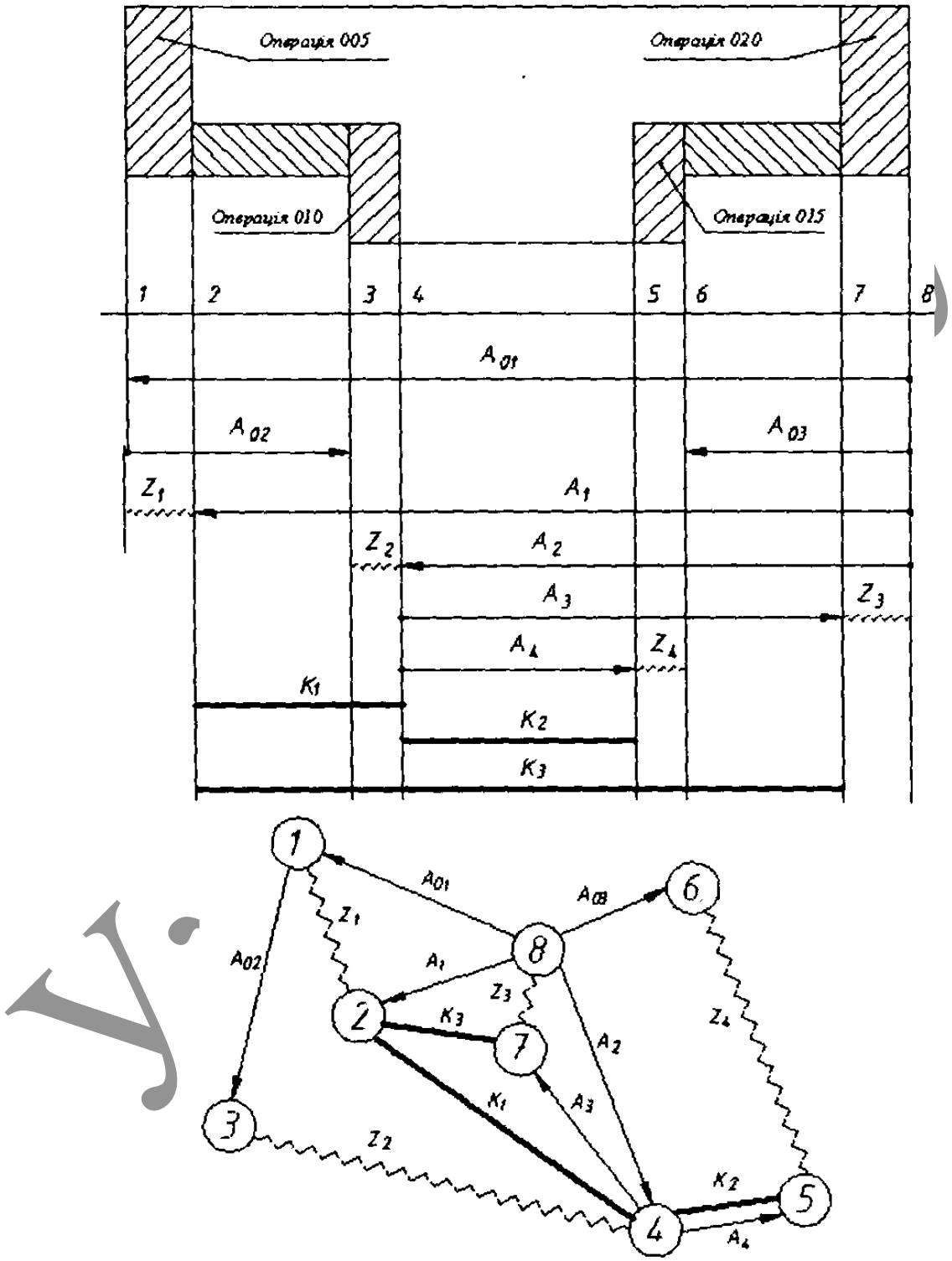


Рис. 11. Комплексна схема та граф розмірних зв’язків

3. ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РОЗМІРНИХ ЛАНЦЮГІВ

Приклад 3. Необхідно виготовити цапфу згідно з кресленням на рис. 12. Цапфа виготовляється в умовах серійного виробництва.

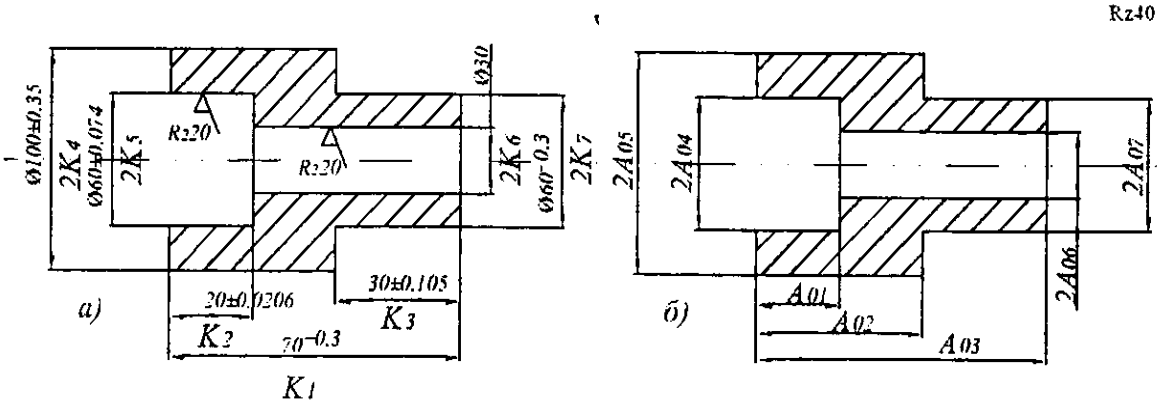


Рис. 12. Креслення цапфи: *а* – ескіз деталі; *б* – ескіз заготовки

Матеріал: сірий чавун СЧ18.
Технічні умови.
Глибина дефектів h=800 мкм.
Висота мікронерівностей Rz=600 мкм.
Приймемо таку послідовність обробки:
Операція 005
а) чорнова обробка;
б) чистова обробка.
Технологічні переходи:
1. Підрізати торець, витримуючи розмір $A_{5.1}$.
2. Проточити поверхню $2A_{5.8}$.
3. Зенкерувати попередньо поверхню $2A_{5.3}$ наскрізно.
4. Зенкерувати попередньо поверхню $2A_{5.4}$, витримуючи розмір $A_{5.2}$.
5. Зенкерувати начисто поверхню $2A_{5.6}$ наскрізно.

Зенкерувати начисто поверхню $2A_{5.7}$, витримуючи розмір $A_{5.5}$.
Операція 010
Технологічні переходи:
1. Підрізати торець, витримуючи розмір $A_{10.1}$.
2. Проточити поверхню $2A_{10.3}$ з підрізкою торця в $A_{10.2}$.

В умовах серійного виробництва для отримання заготовки доцільно використовувати лиття в піщано-глиняні форми. Ескіз заготовки наведено на рис. 12 *б*.

УкрНУМГ

Для виконання розмірного аналізу необхідно побудувати розмірні схеми. Для вищенаведеного прикладу буде дві схеми: для лінійних розмірів (у напрямку осі *X)* і для радіальних (діаметральних) розмірів (у напрямку осі *Y*). Побудуємо схему лінійних розмірів. При побудові будемо дотримуватися такої послідовності:

- проаналізуємо всі операції та переходи обробки деталі і виокремимо ті з них, на яких виконується обробка лінійних розмірів. Це операції 005 перехід 1 – розмір $A_{5.1}$; перехід 4 – розмір $A_{5.2}$, перехід 6 – розмір $A_{5.5}$; на операції 010 перехід 1 – розмір $A_{10.1}$; перехід 2 – розмір $A_{10.2}$;

- накреслимо ескіз заготовки у такому масштабі, щоб можна було показати всі поверхні, які обробляються. Рекомендовано, щоб на ескізі заготовка була показана у такому положенні, яке вона займає при виконанні першої операції (див. рис. 12 *а*). Для деталей симетричних відносно осі можна показувати тільки половину заготовки (деталі);

- покажемо розмірну схему у напрямку осі *X*;

- нанесемо на ескіз заготовки розміри заготовки так, щоб перший розмір *А* починався від технологічної бази на першій операції, решта розмірів (A_{01}, A_{03}) починалися від вимірювальних баз (рис. 13 *а*);

- нанесемо на зображення заготовки ескіз першої операції (005). Для спрощення креслення поверхні, які обробляються в радіальному напрямку, можна не показувати. Нанесемо операційні розміри $A_{5.1}$, $A_{5.2}$, $A_{5.5}$. Початок розміру від технологічної встановлювальної (розмір $A_{5.1}$) і налагоджувальної бази (розміри $A_{5.2}$, $A_{5.5}$);

- покажемо на розмірній схемі припуски, які знімають при отриманні відповідних технологічних розмірів хвилястими лініями – $Z_{5.1}$; $Z_{5.2}$; $Z_{5.5}$; $Z_{10.1}$; $Z_{10.2}$;

- нанесемо на зображення заготовки ескіз другої операції з технологічними розмірами $A_{10.1}$, $A_{10.2}$.

- нанесемо на розмірну схему конструкторські розміри у вигляді потовщених ліній між відповідними поверхнями деталі – K_1, K_2, K_3.

- будуємо граф-дерево механічної обробки цапфи у напрямку осі *X*.

Граф-дерево механічної обробки показано на рис. 14 *б.*

Побудову починаємо з поверхні 3, яка є базовою на першій операції. Послідовно наносимо на граф-дерево всі технологічні розміри, розміри припусків і конструкторські розміри.

Перевіримо правильність побудови розмірної схеми згідно з наведеними раніше правилами. У розглянутому випадку поверхонь – 9, технологічних розмірів ($A_{ii}+A_{0i}$) – 8, що відповідає правилу 2: $Z_{ii}+K_i=8$. Сума припусків і конструкторських розмірів дорівнює кількості

УкрНУМЛУ

технологічних розмірів. Отже, правило 3 у нашому випадку виконується.

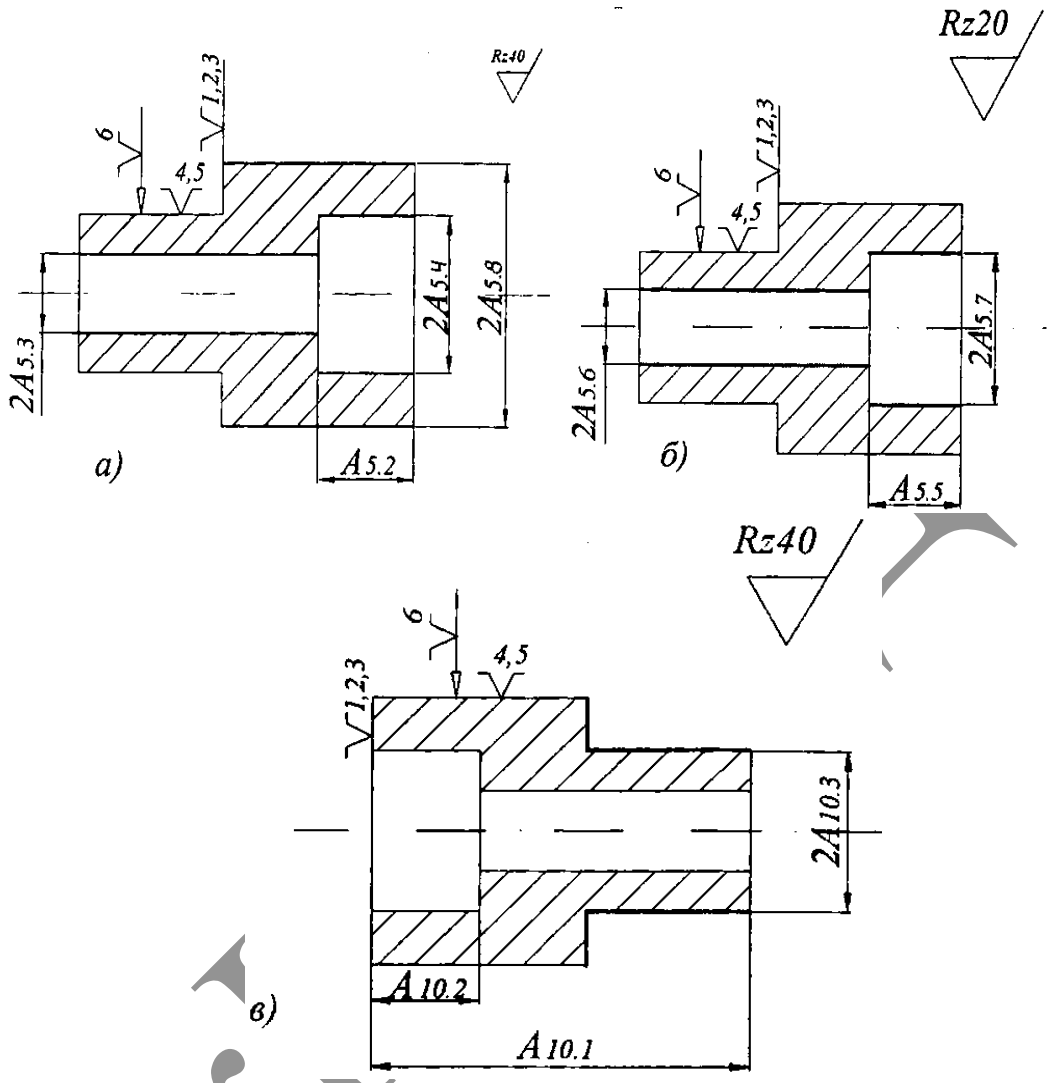


Рис. 13. Комплексна схема та граф розмірних зв’язків

При аналізі технологічного процесу за допомогою розмірної схеми та граф-дерева показано, що запропонований варіант не є оптимальним. Конструкторський розмір *К* не співпадає з технологічним. При обробці на його точність будуть впливати два операційні розміри – $A_{10.1}$ та $A_{10.2}$. Крім цього, очікується значний діапазон розмірів припуску $Z_{10.1}$ тому, що до складу розмірного ланцюга при його визначенні входять чотири ланки (див. табл. 5). Конструкторські розміри K_1 та K_2 відповідно співпадають з технологічними розмірами $A_{10.1}$ та A_{55}, точність їх залежить тільки від точності технологічної системи, тобто

$$K_1=A_{10.1};\ K_2=A_{5.5}.$$

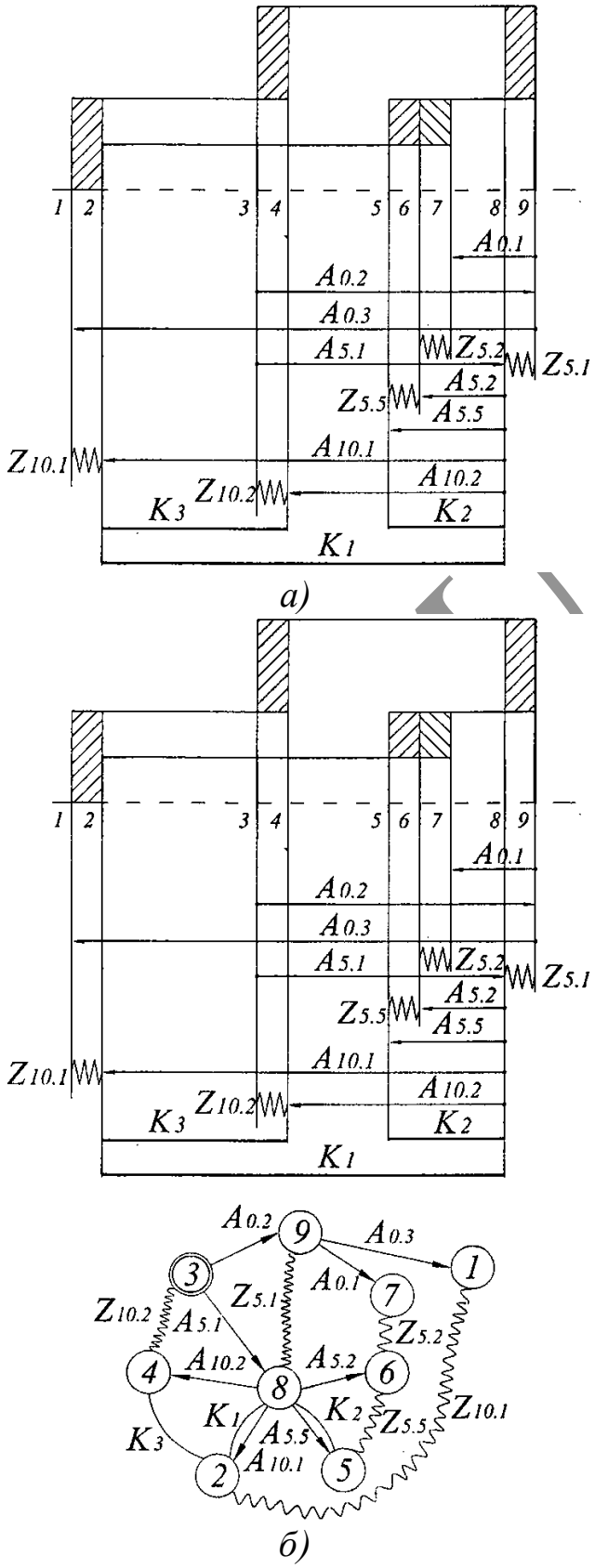


Рис. 14. Розмірна схема механічної обробки деталі (*а*) та її граф-дерево *(б)*

Для розглянутого прикладу запишемо всі розмірні ланцюги згідно з розмірною схемою і граф-деревом у вигляді табл. 5.

Таблиця 5

Розмірні ланцюги розглянутого прикладу

№ з/п	Початкове рівняння розмірного ланцюга	Невідомий розмір
1	$K_1=A_{10.1}$	$A_{10.1}$
2	$K_2=A_{5.5}$	$A_{5.5}$
3	$K_3=A_{10.1}-A_{10.2}$	$A_{10.2}$
4	$Z_{10.2}=A_{5.1}-A_{10.2}$	$A_{5.1}$
5	$Z_{5.1}=A_{02}-A_{5.1}$	A_{02}
6	$Z_{5.5}=A_{5.5}-A_{5.2}$	$A_{5.2}$
7	$Z_{5.2}=A_{5.2}-A_{5.1}-A_{01}+A_{02}$	A_{01}
8	$Z_{10.1}=A_{03}-A_{02}-A_{5.1}-A_{10.1}$	A_{03}

Розв'язання рівнянь розмірних ланцюгів методом максимуму-мінімуму. Згідно із загальною методикою розрахунків визначимо технологічні допуски на розміри деталі. У прикладі для спрощення взяті табличні значення допусків. При одноразовій обробці за рекомендаціями [13, додаток 6] допуски на розміри $A_{5.1}$, $A_{5.2}$ $A_{10.2}$ приймаються за 12 квалітетом точності.

Допуски на розміри $A_{5.5}$ і $A_{10.1}$ визначаються з креслення деталі і, відповідно, дорівнюють допускам на конструкторські розміри K_2 і K_1 (за 9 квалітетом точності). На розміри заготовок допуски приймемо за 1 класом точності [13, додаток 7]. Значення допусків на всі розміри зведемо в табл. 6.

Таблиця 6

Позначення розміру	$A_{10.1}$	$A_{5.5}$	$A_{10.2}$	$A_{5.1}$	A_{02}	A_{01}	A_{03}	$A_{5.2}$
Допуск на розмір, мм	0,3	0,052	0,25	0,25	0,4	0,4	0,6	0,21

При встановленні припусків будемо вважати, що у нашому випадку немає зміщення між поверхнями заготовки та інших просторових відхилень. Припуск знайдемо за формулою $Z_{min}=Rz_{i-1}+h_{i-1}$. При чорновій і одноразовій обробці поверхні величина припуску:

$$Z_{min}=800+600=1400 \text{ мкм}=1,4 \text{ мм}.$$

При чистовій обробці:

$$Z_{min}=40+40=80 \text{ мкм}=0,08 \text{ мм}.$$

Після встановлення всіх необхідних допусків і припусків знаходимо невідомі розміри з рівнянь розмірних ланцюгів (табл. 5).

Розглянемо це на прикладі рівняння 3 з табл. 5.

Мінімальне значення замикаючої ланки:

$$K_{3\min} = A_{10.1}^{\min} - A_{10.2}^{\max}.$$

Перепишемо останнє рівняння відносно невідомої ланки:

$$A_{10.2}^{\max} = A_{10.1}^{\min} - K_3^{\min}.$$

Чисельні значення розмірів $A_{10.2}^{min}$ і K_2^{min} знайдемо з рівнянь 1 та 2 табл. 5.

$$A_{10.1}^{\min} = K_1^{\min} = K_1 - TK_1 = 70 - 0,3 = 69,7 \text{ мм},$$
$$K_2^{\min} = K_2 - TK_2 = 30 - 0,21 = 29,79 \text{ мм}.$$

Чисельне значення розміру $A_{10.2}^{max}$ буде рівним:

$$A_{10.2}^{\max} = 69,7 - 29,79 = 39,91 \text{ мм}.$$

Друге граничне значення розміру A_2:

$$A_{10.2}^{\min} = A_{10.1}^{\max} - TA_{10.2} = 39,91 - 0,25 = 39,56 \text{ мм}.$$

З врахуванням того, що допуск призначається в тіло, запишемо номінальне значення розміру:

$$A_{10.2}=39,91-_{0,25} \text{ мм}.$$

Діапазон розмірів замикаючої ланки:

$$WK_3=TA_{10.1}+TA_{10.2}=0,3+0,25=0,55.$$

У вказаному варіанті виникає протиріччя: діапазон можливої зміни припуску більше, ніж допуск на розмір K_3:

УкрДУ МДУ

$$WK_3 > TK_3 \ (0{,}55>0{,}21).$$

Це протиріччя пояснюється тим, що конструкторський розмір K_3 не співпадає з технологічним.

Знайдемо допуск на розмір $A_{10.1}$, прийнявши

$$WK_3 = TK_3 = 0{,}21 \text{ мм},$$
$$TA_{10.1} = TK_3 - TA_{10.2} = 0{,}21 - 0{,}25 = -0{,}04 \text{ мм}.$$

Допуск на розмір не може бути від'ємним. Щоб усунути це протиріччя, необхідно змінити технологічний процес, а саме – передбачити нову схему базування, для якої співпадали б конструкторські, технологічні і вимірювальні бази.

Інші невідомі розміри визначимо аналогічно, а результати розрахунків занесемо в табл. 7.

2. Розв'язання рівнянь розмірних ланцюгів теоретико-імовірнісним методом.

Розв'язання рівнянь теоретико-імовірнісним методом розглянемо на прикладі рівняння 3 з табл. 5.

Таблиця 7

Результати розрахунків розмірів

№ з/п	Позначення розміру	Мінімальне значення, мм	Максимальне значення, мм	Номінальне значення, мм
1	2	3	4	5
1	$A_{10.1}$	69,7	70	$70_{-0,3}$
2	$A_{5.5}$	19,974	20,026	$20\pm0,026$
3	$A_{10.2}$	39,66	39,91	$39,9_{-0,25}$
4	$A_{5.1}$	41,31	41,56	$41,6_{-0,25}$
5	A_{02}	42,96	43,36	$43,4_{-0,4}$
6	$A_{5.2}$	19,174	19,384	$19,4_{-0,21}$
7	A_{01}	18,774	19,174	$19,2_{-0,4}$
8	A_{03}	73,45	74,05	$74,0_{-0,6}$

З цього рівняння знайдемо номінальне значення замикаючої ланки:

$$A_{10.2} = A_{10.1} - K_3 = 70 - 30 = 40 \text{ мм}.$$

ЧНТУ

Знайдемо допуск на замикаючу ланку за формулою

$$\omega A_x = Kp_x \sqrt{\sum_{i=1}^{m+u} KBP^2 \omega A_i^2} .$$

Припустимо, що розсіювання розмірів всіх ланок підпорядковується закону нормального розподілу K_p=3.

Оскільки деталь виготовляється в умовах серійного виробництва, то KBP^2=0,167,

$$TK_3 = WK_3 = 3\sqrt{0,167(0,3^2 + 0,25^2)} = 0,48 \text{ мм}.$$

Легко помітити, що у такому варіанті технологічного процесу розмір K_3 має відхилення значно більші ніж конструкторські вимоги.

Координата середини поля допуску замикаючої ланки при врахуванні симетричності відхилення з формули $OA_i=(BBA_i+HBA_i)/2$, рівна нулеві.

$$OK_3=OA_{10.1}-OA_{10,2}.$$

Тоді координата середини поля допуску на розмір $A_{10,2}$:

$$OA_{10.2}=OA_{10.2}-OK_3=((0+(-0,3))/2)-0=-0,15 \text{ мм}.$$

Верхнє відхилення розміру $A_{10.2}$:

$$BBA_{10.2}=OA_{10.2}+TA_{10.2}/2=-0,15+0,125=-0,025 \text{ мм}.$$

Нижнє відхилення розміру $A_{10.2}$:

$$HBA_{10.2}=OA_{10.2}-TA_{10.2}/2=-0,15-0,125=-0,275 \text{ мм}.$$

Номінальне значення розміру $A_{10.2}=40^{-0,025}_{-0,275}$ мм.

Значення інших невідомих розмірів з табл. 5 визначаємо аналогічно. Результати розрахунків заносимо в табл. 8.

Побудуємо розмірну схему для радіальних (діаметральних) розмірів у напрямку осі *Y* (рис. 15 *а).*

Аналогічно нанесемо всі технологічні розміри (в тому числі і розміри заготовки) та покажемо розміри припусків.

УжНУ МЛУ

Таблиця 8

Результати розрахунків

№ з/п	Позначення розміру	Номінальне значення розміру, мм
1	$A_{10.1}$	70_{-03}
2	$A_{5.5}$	$20\pm0,26$
3	$A_{10.2}$	$40^{-0,025}_{-0,275}$
4	$A_{5.1}$	$41,4_{-0,25}$
5	$A_{10.2}$	$42,8^{+0,075}_{-0,325}$
6	$A_{5.2}$	$19,9\pm0,105$
7	A_{01}	$19,92^{+0,17}_{-0,23}$
8	A_{03}	$72,8^{+0,125}_{-0,475}$

Граф-дерево механічної обробки показано на рис. 15 *б*.

З розмірної схеми і граф-дерева виокремимо всі рівняння розмірних ланцюгів і запишемо їх в табл. 9.

Таблиця 9

№ з/п	Рівняння розмірного ланцюга	Невідомий розмір
1	$K_4=A_{5.8}$	$A_{5.8}$
2	$K_6=A_{5.6}$	$A_{5.6}$
3	$K_5=A_{5.7}$	$A_{5.7}$
4	$K_7=A_{10.3}$	$A_{10.3}$
5	$Z_{l0.3}=A_{0.7}-A_{10.3}+e_7+e_8$	$A_{0.7}$
6	$Z_{5.7}=A_{5.7}-A_{5.4}$	$A_{5.4}$
7	$Z_{5.6}=A_{5.6}-A_{5.3}$	$A_{5.3}$
8	$Z_{5.4}=A_{5.4}-A_{0.4}+e_7+e_3$	$A_{0.4}$
9	$Z_{5.3}=A_{5.3}-A_{0.6}+e_5+e_3$	$A_{0.6}$
10	$Z_{5.8}=A_{0.5}-A_{5.8}+e_7+e_2$	$A_{0.5}$

Очевидно, що побудова розмірних схем для діаметральних розмірів має свою особливість – до складу розмірних ланцюгів входять величини ексцентриситетів між осями поверхонь заготовки і деталі. Вони виникають внаслідок зміщення поверхонь заготовки, які викликані зміщеннями частин ливарних форм (штампів), а також зміщенням поверхонь за рахунок похибок базування деталей при механічній обробці та похибок технологічної системи.

На розмірній схемі і граф-дереві механічної обробки цапфи приймаються такі позначення (рис. 15):

O_1 – вісь поверхні 1 (зовнішня поверхня заготовки 100 мм);

O_2 – вісь поверхні 5 (внутрішня поверхня заготовки 60 мм);

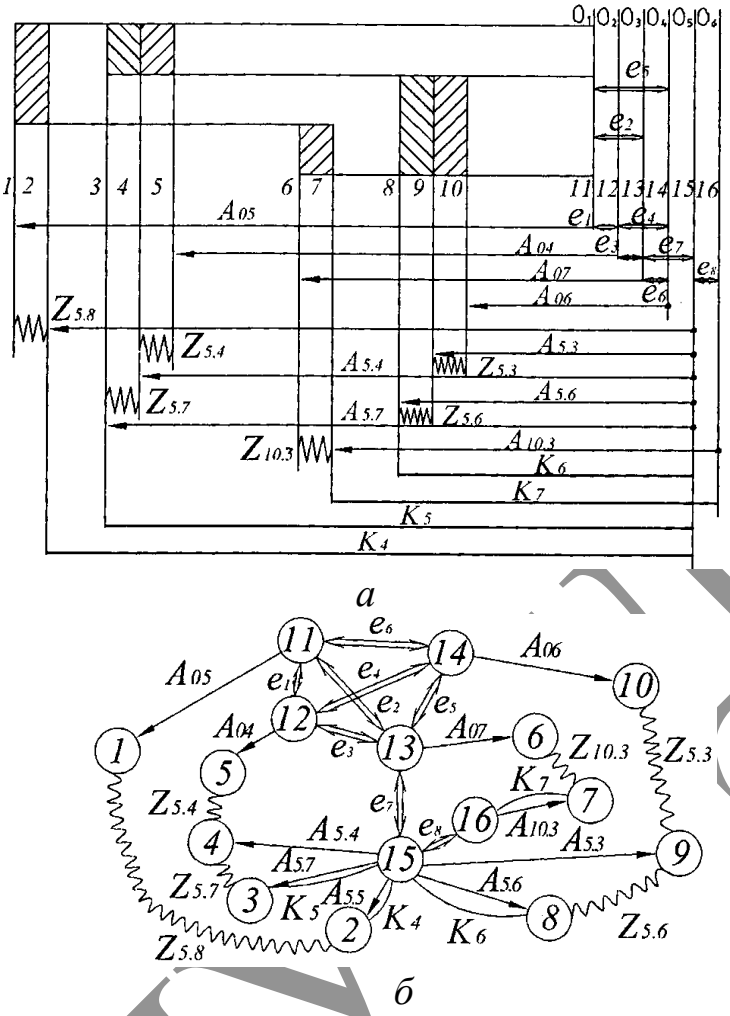


Рис. 15 Розмірна схема технологічного процесу обробки цапфи в радіальному напрямку *(а)* і граф-дерево *(б)*

O_3 – вісь поверхні 6 (зовнішня поверхня заготовки 60 мм);

O_4 – вісь поверхні 10 (внутрішня поверхня заготовки 30 мм);

O_5 – вісь поверхні 6, яка зміщується відносно осі O_3 заготовки в результаті похибок базування;

O_6 – вісь поверхні 2, яка зміщується відносно осі 5 (раніше обробленої поверхні) в результаті похибок базування;

e_1 – ексцентриситет між поверхнями 1 та 5 заготовки;

e_2 – ексцентриситет між поверхнями 1 та 6 заготовки;

e_3 – ексцентриситет між поверхнями 5 та 6 заготовки;

e_4 – ексцентриситет між поверхнями 5 та 10 заготовки;

e_5 – ексцентриситет між поверхнями 6 та 10 заготовки;

e_6- ексцентриситет між поверхнями 1 та 10 заготовки;

e_7 – ексцентриситет, який виникає між поверхнею 6 (базовою поверхнею заготовки) та віссю O_5 в результаті похибок базування;

e_8 – ексцентриситет, який виникає між поверхнею 2 та віссю O_6 в результаті похибок базування.

Розв'язання рівнянь розмірних ланцюгів, до складу яких входять величини ексцентриситетів, розглянемо на прикладі рівняння 5 з табл. 9.

Мінімальне значення замикаючої ланки:

$$Z_{10.3}^{\min} = A_{07}^{\min} - A_{10.3}^{\max} + e_7^{\min} + e_8^{\min}.$$

Не має значення з яким знаком у рівняння вноситься величина ексцентриситету, оскільки зміщення осі може відбуватися у будь-якому напрямку.

Перепишемо останнє рівняння відносно невідомої ланки A_{07}:

$$A_{07}^{\min} = Z_{10.3}^{\min} + A_{10.3}^{\max} - e_7^{\min} - e_8^{\min}.$$

Для нашого випадку e_7^{min} – ексцентриситет, який регламентується точністю технологічної системи. Оскільки базування в цій операції виконується від "чорнової" бази, то згідно з додатком e_7=0±0,15 мм. При обробці поверхні 7 базування здійснюється від поверхні 2, яка попередньо вже оброблена. Тому ексцентриситет e_8 рівний e_8=0±0,06 мм. З розмірної схеми видно, що $A_{10.3}$=K_7, тобто $A_{10.3}^{min}$=30 мм, $A_{10.3}^{max}$=30,15 мм ($2K_7$=60±0,3 мм рис. 12 *а*). Таким чином:

$$A_{07}^{min}=1,4+30,15-0,15-0,06=31,34 \text{ мм},$$
$$A_{07}^{max}=A_{07}^{min}+TA_{01}=31,34+0,3=31,64 \text{ мм},$$
$$A_{07}=31,19\pm0,15 \text{ мм}.$$

УЖГУ.МЛУ

4. ПОБУДОВА ТА РОЗРАХУНОК РОЗМІРНИХ СХЕМ ДЛЯ ОБРОБКИ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ

При обробці корпусних та подібних їм деталей розмірні схеми необхідно будувати у трьох напрямках, а саме – вздовж координатних осей. Розглянемо це на конкретних прикладах.

Приклад 1. Обробляється опора. Креслення опори та заготовки приведені на рис. 16, 17 у вигляді ескізів.

На поверхні опори не повинно бути дефектів від заготівельної операції. Заготовка отримується методом лиття в піщано-глиняну форму за третім класом точності (T=3 мм). Номінальні розміри мають симетричні відхилення.

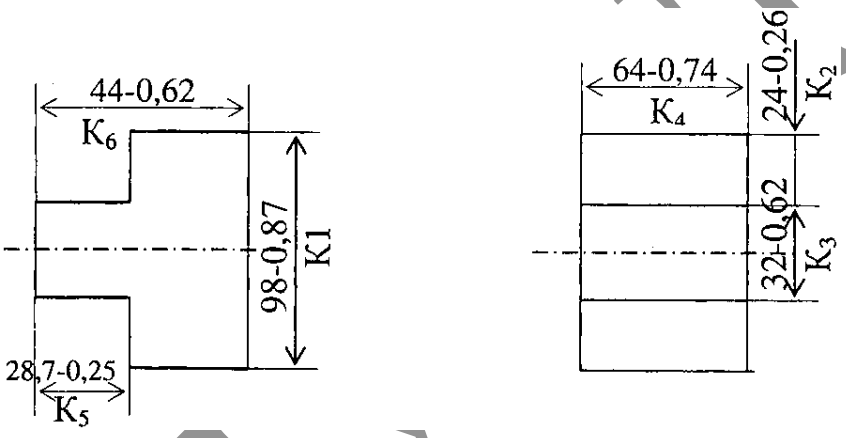


Рис. 16. Ескіз опори

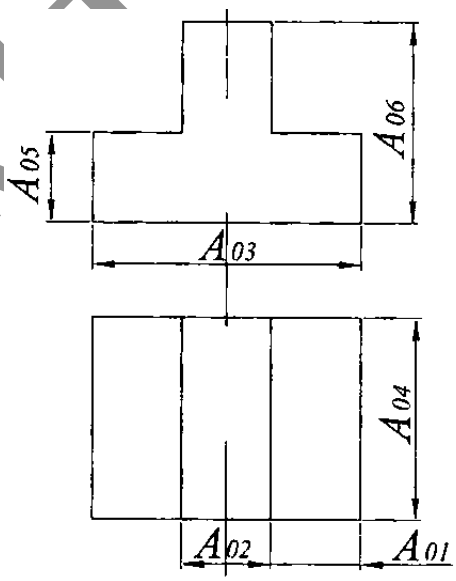


Рис. 17. Ескіз заготовки

Ужгду

Технічні умови:

1. Глибина дефектного шару на поверхні відливки не більше h=1000 мкм.

2. Шорсткість поверхні Rz=600 мкм.

3. Точність розмірів T=3 мм.

4. Граничне відхилення всіх розмірів 1,5 мм.

Технологічний процес обробки приведено на рис. 18 у вигляді маршрутної технології.

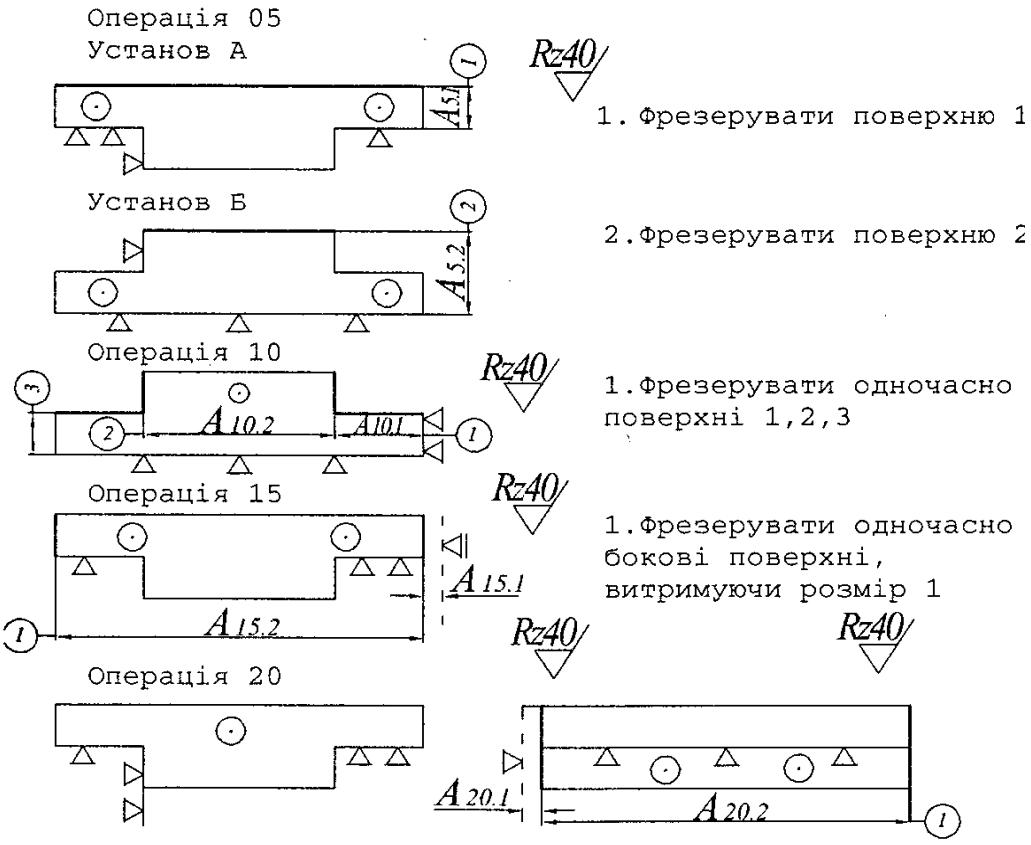


Рис. 18. Маршрут обробки опори

Перейдемо до аналізу розмірних схем. Мета аналізу – встановлення операційних розмірів та розмірів заготовки.

Схема 1. Вздовж осі X (рис. 19).

Конструкторські розміри K_1 *і* та K_3 співпадають з операційними розмірами $A_{15.2}$ та $A_{10.2}$. Для знаходження інших операційних розмірів необхідно виокремити розмірні ланцюги (табл. 10). Знаходимо величини всіх припусків та допусків на розміри.

Оскільки згідно з технічними умовами всі поверхні заготовки мають однакову шорсткість та величину дефектного шару, то припуски $Z_{15.1}$, $Z_{10.1}$, $Z_{15.2}$ мають однакові складові частини, а саме:

$$Z_{min}=Rz_{i-1}+h_{i-1}=600+1000=1,6 \text{ мм}.$$

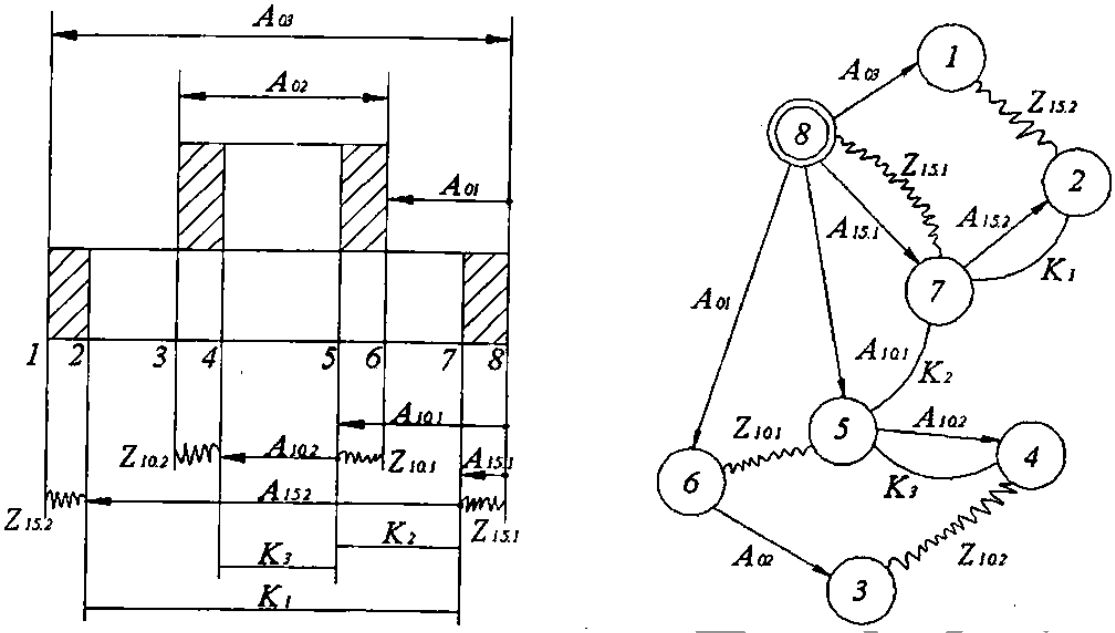


Рис. 19. Розмірна схема вздовж осі *X*

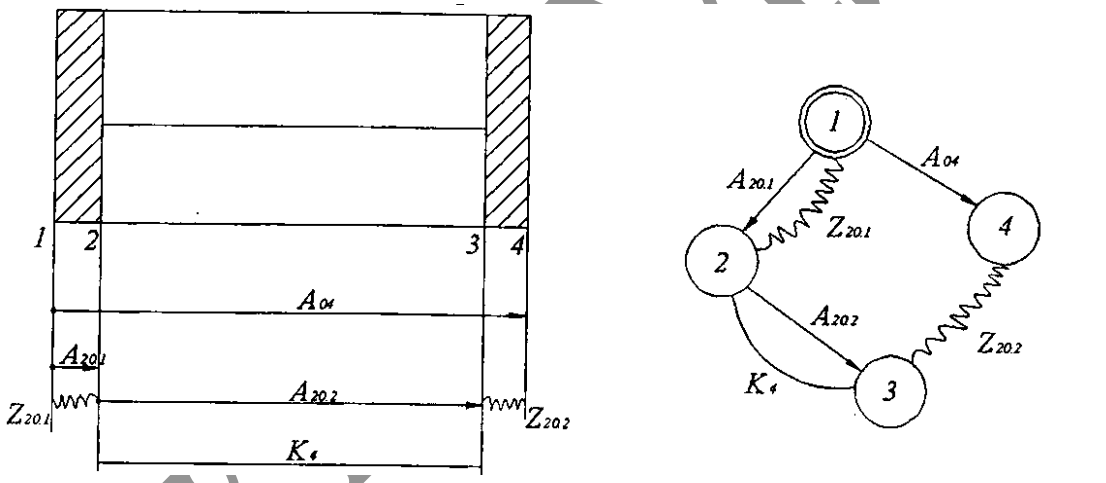


Рис. 20. Розмірна схема вздовж осі *Y*

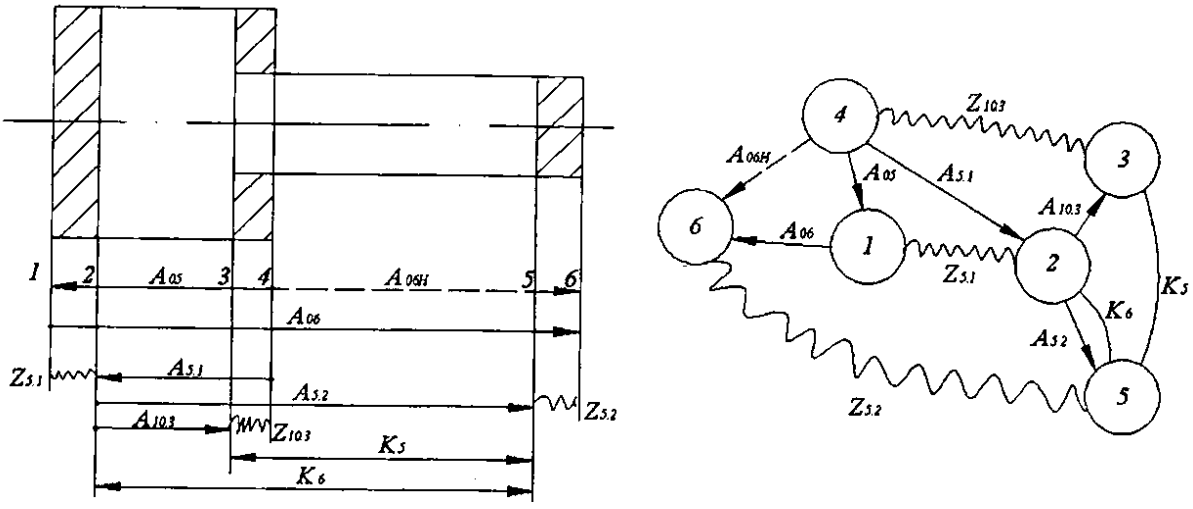


Рис. 21. Розмірна схема вздовж осі *Z*

Вважаємо, що похибки встановлення та просторові відхилення відсутні. Допуски на розміри заготовки показані в технічних умовах (*T*=0,3 відхилення ±1,5). Допуски на операційні розміри, що співпадають з конструкторськими розмірами, рівні допускам на конструкторські розміри. Необхідно знайти допуск на розмір $A_{10.1}$.

Якщо врахувати, що базування виконується від "чорнової" поверхні, то економічна точність обробки не перевищує 13 квалітет. Приблизне номінальне значення розміру $A_{10.1}$=24...26 мм. Цьому значенню відповідає допуск *T*=0,2 мм [13, додаток 6]. Враховуючи, що допуск задається "в тіло", граничні відхилення розміру дорівнюють ±0,1 мм. Таким чином, можна записати рівняння розмірних ланцюгів:

$$K_1=A_{15.2}=90\text{-}0{,}87 \text{ мм}; \; K_3=A_{10.2}=32_{-0{,}62} \text{ мм};$$
$$Z_{15.1}^{min}=A_{15.1}^{min}=1{,}6 \text{ мм}.$$

Оскільки розмір *A* припуск на механічну обробку, то при налагодженні технологічної системи цей розмір буде розміром налагодження. Він витримується від "чорнової" бази, тобто точність його забезпечується за 13 квалітетом. Допуск для нього за довідником [13, додаток 6] складає 0,2 мм. Таким чином, коливання припуску *Z* становить 0,2 мм.

$$A_{15.1} = Z_{15.1} = 1{,}6^{+0{,}2} \text{ мм}.$$

Знайдемо інші розміри згідно із запропонованою раніше методикою. Початкові рівняння розмірних ланцюгів приведені в табл. 10, а результати розрахунків у табл. 11.

Таблиця 10

№ з/п	Початкове рівняння розмірного ланцюга	Невідомий розмір
1	$K_1=A_{15.2}$	$A_{15.2}$
2	$K_3=A_{10.2}$	$A_{10.2}$
3	$Z_{15.1}=A_{15.1}$	$A_{15.1}$
4	$K_2=A_{10.1}\text{-}A_{15.1}$	$A_{10.1}$
5	$Z_{15.2}=A_{0.3}\text{-}A_{15.2}\text{-}A_{15.1}$	$A_{0.3}$
6	$Z_{10.1}=A_{10.1}\text{-}A_{0.1}$	$A_{0.1}$
7	$Z_{10.2}=A_{0.2}+A_{0.1}\text{-}A_{10.2}\text{-}A_{10.1}$	$A_{0.2}$

КНТУ.МДУ

Діапазон припусків:

$$WZ_{15.1}=TA_{03}+T_{15.2}+T_{15.1}=3+0{,}87+0{,}2=4{,}07 \text{ мм};$$
$$WZ_{15.1}=TA_{10.1}+TA_{01}=0{,}2+3=3{,}2 \text{ мм};$$
$$WZ_{10.2}=TA_{02}+TA_{01}+TA_{10.2}+TA_{10.1}=3+3+0{,}62+0{,}2=6{,}82 \text{ мм}.$$

Таблиця 11

Результати розрахунків

№ з/п	Позначення розміру	Допуск, мм	Мінімальні значення, мм	Максимальні значення, мм	Номінальне значення, мм
1	$A_{15.1}$	0,2	1,6	1,8	$1{,}6^{+0{,}2}$
2	$A_{15.2}$	0,87	89,13	90	$90_{-0{,}87}$
3	$A_{10.1}$	0,2	25,67	25,87	25,77±0,1
4	$A_{10.2}$	0,62	31,38	32	$32_{-0{,}62}$
5	A_{01}	3	22,07	25,07	23,57±1,5
6	A_{02}	3	37,4	40,4	38,9±1,5
7	A_{03}	3	101,2	104,2	102,7+1,5

Максимальні значення припусків на обробку:

$$Z_{15.1}^{max}=Z_{15.1}^{min}+WZ_{15.1}=1{,}6+0{,}2=1{,}8 \text{ мм};$$
$$Z_{15.2}^{max}=Z_{15.2}^{min}+WZ_{15.2}=1{,}6+4{,}07=5{,}67 \text{ мм};$$
$$Z_{10.1}^{max}=Z_{10.1}^{min}+WZ_{10.1}=1{,}6+3{,}2=4{,}8 \text{ мм};$$
$$Z_{10.2}^{max}=Z_{10.2}^{min}+WZ_{10.2}=1{,}6+6{,}92=8{,}42 \text{ мм}.$$

Очевидно, що при такому варіанті технологічного процесу необхідно передбачити великі припуски на обробку. Це економічно не вигідно з точки зору значних витрат матеріалу і великої технологічної собівартості (зростає норма часу на обробку, витрати на різальний інструмент та ін.). Зменшити діапазон припуску можна двома методами.

Перш за все, зменшивши допуски на операційні розміри. Цей метод не є оптимальним, оскільки будь-яке зменшення допусків призводить до зростання технологічної собівартості.

Другий метод – переглянути структуру технологічного процесу з метою скорочення ланок у розмірних ланцюгах. Для цього змінимо ескіз заготовки і нанесення розмірів (див. рис. 17, 18) та поміняємо місцями операції 010 та 015, тобто спочатку фрезеруємо габаритний

розмір 98, а потім – бокові поверхні опори. Новий варіант креслення заготовки та операцій 010 та 015 приведені на рис. 22 та 23.

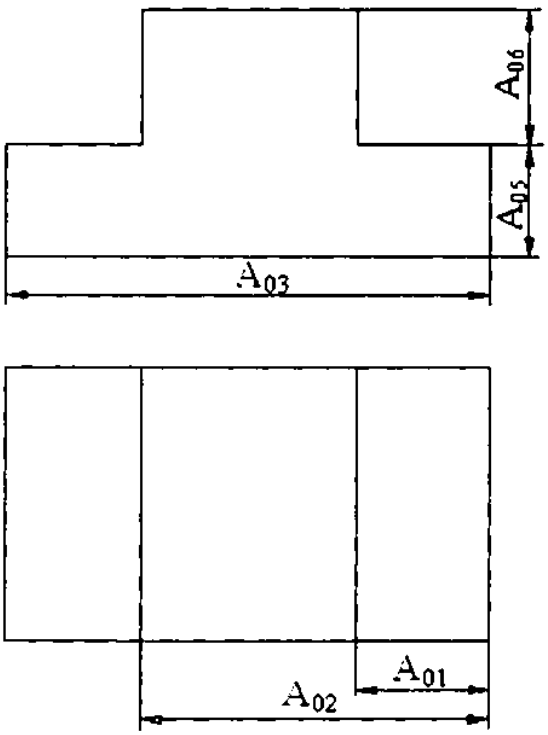


Рис. 22. Ескіз заготовки

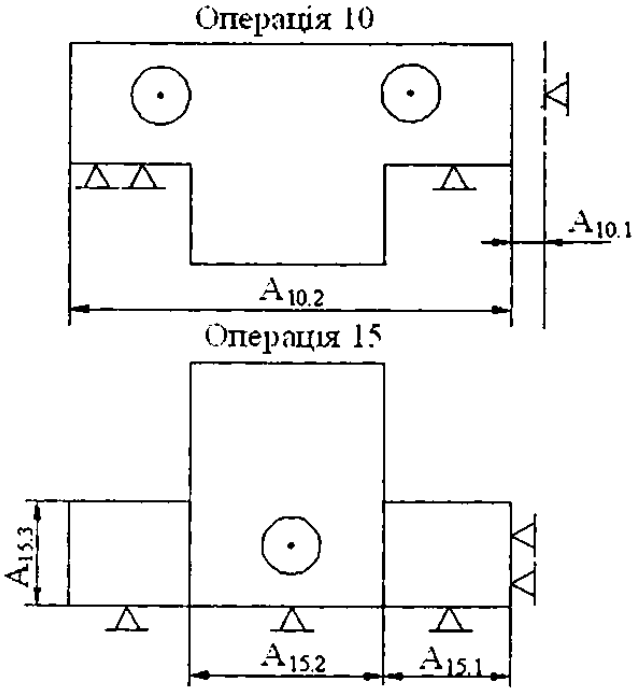


Рис. 23.Схема базування

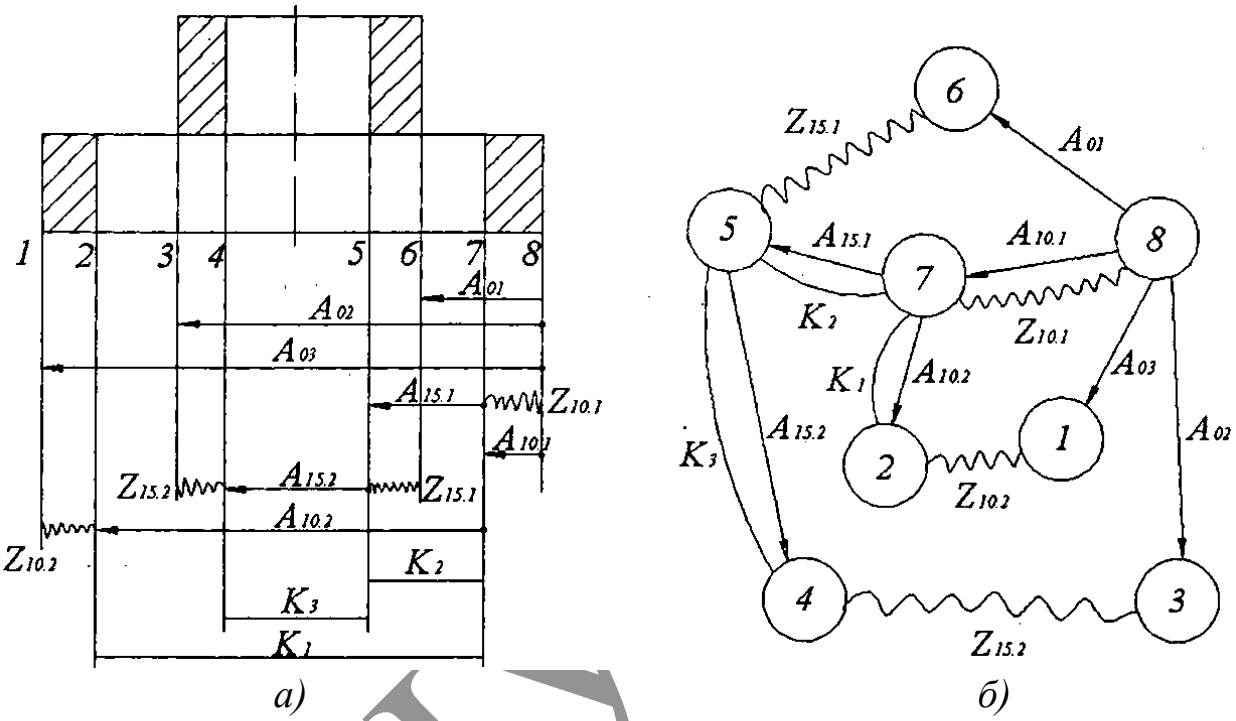
На рис. 24 приведено розмірну схему і граф-дерево нового варіанту технологічного процесу механічної обробки опори.

Допуски на технологічні розміри рівні:

$TA_{10.1}$=0,2 мм; $TA_{10.2}$=0,87 мм; $TA_{15.1}$=0,2 мм;
$TA_{15.2}$=0,62 мм; TA_{01}=TA_{02}=3 мм;

Мінімальне значення припуску:

$Z_{15.1}^{min}$=$Z_{15.2}^{min}$=$Z_{10.1}^{min}$=$Z_{10.2}^{min}$=1,6 мм.



а) *б)*

Рис. 24.Технологічний процес обробки опори: *а* – розмірна схема, *б* – граф-дерево механічної обробки

Аналізуючи розмірну схему і граф-дерево, можна визначити діапазон припусків та їх максимальні значення:

$WZ_{15.1}$=$TA_{15.1}$+$TA_{10.1}$+TA_{01}=0,2+0,2+3=3,4 мм;
$Z_{15.1}^{max}$=$Z_{15.1}$+$WZ_{15.1}$=1,6+3,4=5,0 мм;
$WZ_{15.2}$=TA_{02}+$TA_{10.1}$+$TA_{15.1}$+$TA_{15.2}$=3+0,2+0,2+0,62=4,02 мм;
$Z_{15.2}^{max}$=1,6+4,02=5,62 мм;
$WZ_{10.1}$=0,2 мм; $Z_{10.1}^{max}$=1,6+0,2=1,8 мм;
$WZ_{10.2}$=TA_{03}+$TA_{10.1}$+$TA_{10.2}$=3+0,2+0,87=4,07 мм;
$Z_{10.2}^{max}$=1,6+4,07=5,67 мм.

На зміну припуску найбільший вплив здійснюють допуски на розміри заготовки, які завдані технічними умовами. Щоб зменшити такі зміни і одночасно найбільше значення припуску, необхідно змінити метод одержання заготовки та призначити допуски на технологічні

УжНУ

розміри згідно з допусками на технологічну систему (економічні допуски).

Знайдемо операційні розміри за новим варіантом розмірної схеми 1 (рис. 24). Аналізуючи граф-дерево механічної обробки, встановлюємо, що новий варіант технологічного процесу є оптимальним. Всі конструкторські розміри співпадають з технологічними, тобто на їх точність впливає тільки стан технологічної системи та спосіб встановлення деталі у пристосуванні. Точність конструкторських розмірів не залежить від інших технологічних розмірів. Таким чином:

$$A_{10.1}=Z_{10.1}=1{,}6^{+0{,}2} \text{ мм}; \; A_{15.2}=32_{-0{,}62} \text{ мм};$$
$$A_{10.2}=K_1=98_{-0{,}87} \text{ мм}; \; A_{15.1}=K_2=24_{-0{,}26} \text{ мм}.$$

Інші технологічні розміри знайдемо з відповідних розмірних ланцюгів, встановлених за допомогою граф-дерева та розмірної схеми 1 за новим варіантом. Початкові розмірні ланцюги та результати розрахунків зведені в табл. 12.

Таблиця 12

Початкові розмірні ланцюги

№	Початкове рівняння розмірного ланцюга	Невідомий розмір	Допуск на розмір, мм	Мінім. знач., мм	Макс. знач., мм	Номін. значення, мм
1	$A_{10.2}=K_1$	$A_{10.2}$	0,87	97,13	98	$98_{-0{,}87}$
2	$A_{15.2}=K_3$	$A_{15.2}$	0,62	31,38	32	$32_{-0{,}62}$
3	$A_{15.1}=K_2$	$A_{15.1}$	0,26	23,74	24	$24_{-0{,}26}$
4	$A_{10.1}=Z_{10.1}$	$A_{10.1}$	0,25	1,6	1,85	$1{,}6^{+0{,}25}$
5	$Z_{15.1}=A_{15.1}-A_{01}+A_{10.1}$	A_{01}	3	23,74	23,74	22,24±1,5
6	$Z_{10.2}=A_{03}-A_{10.1}+A_{10.2}$	A_{03}	3	101,4	101,4	102,9±1,5
7	$Z_{15.2}=A_{02}-A_{15.1}-A_{10.1}$	A_{02}	3	59,4	62,4	60,9±1,5

Перейдемо до розгляду розмірної схеми вздовж осі Y (рис. 20). Конструкторський розмір K_4 співпадає з технологічним розміром $A_{20.2}$:

$$A_{20.2}=K_4.$$

Таким чином, залишається встановити припуски $Z_{20.1}$; $Z_{20.2}$ та технологічний розмір (розмір заготовки) A_{04}.

Припуск $Z_{20.1}$ співпадає з технологічним розміром $A_{20.2}$ (поверхня 1 в розмірній схемі є чорновою базою) і він визначається з рівняння:

$$Z_{20.1}^{min}=A_{20.1}^{min}=h_{i-1}+Rz_{i-1}=1,0+0,6=1,6 \text{ мм}.$$

При визначенні припуску $Z_{20.2}$ необхідно враховувати те, що при одержанні заготовки будуть похибки, пов'язані із короблення м та ввігнутістю, відхиленням від перпендикулярності та паралельності

$$Z_{20.2}=h_{i-1}+Rz_{i-1}+p=1,0+0,6+1,74=3,34 \text{ мм},$$

де p – просторові відхилення;

$$p=p_к+p_1=1,5+0,24.$$

Тоді для номінального розміру 3,34 мм за 13 квалітетом відхилення становить T=0,2 мм.

$$Z_{20.2}=3,34^{+0,2} \text{ мм}.$$

Запишемо початкове рівняння для знаходження розміру A з розмірної схеми і зведемо дані в табл. 13.

Таблиця 13

Зведені дані

№	Початкове рівняння розмірного ланцюга	Невідомий розмір	Допуск на розмір, мм	Мін. знач., мм	Макс. знач., мм	Номінальне значення, мм
1	$A_{5.2}=K_6$	$A_{5.2}$	0,62	43,38	44	$44_{-0,62}$
2	$K_5=A_{5.2}-A_{10.3}$	$A_{10.3}$	0,25	14,69	14,69	$14,94_{-0,25}$
3	$Z_{10.3}=A_{5.1}-A_{10.3}$	$A_{5.1}$	0,43	16,54	16,97	$16,97_{-0,43}$
4	$Z_{5.1}=A_{05}-A_{5.1}$	A_{05}	3	18,57	21,57	20,07±1,5
5	$Z_{5.2}=A_{06}-A_{03}+A_{5.1}-A_{5.2}$	A_{06}	3	50,63	53,63	52,13±1,5
6	$Z_{20.2}=A_{04}-A_{20.2}-A_{20.1}$	A_{04}	3	69,14	72,14	70,64±1,5

З розмірної схеми в напрямку осі Z визначимо технологічні розміри $A_{5.1}$, $A_{5.2}$, $A_{10.3}$, A_{05}, A_{06}.

З граф-дерева механічної обробки (рис. 21) встановимо, що тільки конструкторський розмір K_6 співпадає з технологічним розміром $A_{5.2}$. Решту розмірів визначимо з відповідних розмірних ланцюгів,

НУ МДУ

попередньо розрахувавши припуски $Z_{5.1}$, $Z_{5.2}$, $Z_{10.3}$. На величину припусків у цьому випадку не буде впливати ввігнутість та короблення. Таким чином їх величина може бути розрахована за формулою:

$$Z_{5.1}=Z_{5.2}=Z_{10.3}=h_{i-1}+Rz_{i-1}=1,0+0,6=1,6 \text{ мм}.$$

Початкові рівняння розмірних ланцюгів та результати розрахунків занесемо в табл. 13.

Діапазони зміни припусків становлять:

$$WZ_{10.3}=TA_{5.1}+TA_{10.3}=0,43+0,25=0,68 \text{ мм},$$
$$Z_{10.3}^{max}=1,6+0,68=2,28 \text{ мм}.$$
$$WZ_{5.2}=TA_{06}+TA_{05}+TA_{5.1}+TA_{5.2}=3+3+0,43+0,62=7,05 \text{ мм},$$
$$Z_{5.2}=1,6+7,05=8,65 \text{ мм}.$$

Аналіз припусків свідчить, що припуск $Z_{5.2}$ може змінюватись у широких межах. Це економічно недоцільно, тому необхідно відмовитись від цього варіанта нанесення розмірів заготовки. Змінимо нанесення розміру A_{06}. Новий розмір вказаний штриховою лінією. Згідно з новим варіантом призначення розміру A_{06} зміниться і розмірна схема та граф-дерево механічної обробки (рис. 21 та 22). Всі розмірні ланцюги для визначення операційних розмірів залишаться такими ж, зміниться тільки ланцюг для визначення розміру A_{06}.

$$Z_{5.2}=A_{06}+A_{5.1}-A_{5.2};\ Z_{5.2}^{\min}=A_{06}^{\min}+A_{5.1}^{\min}-A_{5.2}^{\max};$$
$$A_{06}^{\min}=Z_{5.2}^{\min}+A_{5.2}^{\max}-A_{5.1}^{\min}=1,6+44-16,54=29,06 \text{ мм};$$
$$A_{06}^{\max}=A_{06}^{\min}+T_{A06}=29,06+3=32,06 \text{ мм}.$$

Зміна припуску $Z_{5.2}$ у новому варіанті становить:

$$WZ_{5.2}=TA_{06}+TA_{5.1}+TA_{5.2}=3+0,43+0,62=4,05 \text{ мм}.$$

Виконані розрахунки дають змогу проставити всі проміжні технологічні розміри в операційних ескізах процесу механічної обробки і остаточно оформити ескіз заготовки.

Визначені припуски призводять до можливості виконати розрахунки режимів різання, норм часу на обробку. Запропонований варіант процесу не є оптимальним. Зміна послідовності виконання операцій, технологічних переходів або зміна базових поверхонь при установці заготовки в пристрої дає змогу вибрати оптимальну схему

УжНУМІУ

процесу обробки. Основна мета цього прикладу – продемонструвати методику виконання розмірного аналізу.

Приклад 2. Розглянемо методику розмірного аналізу корпусних деталей з отворами. У прикладі креслення кришки та її заготовки приведені на рис. 25 і 26 у вигляді ескізів.

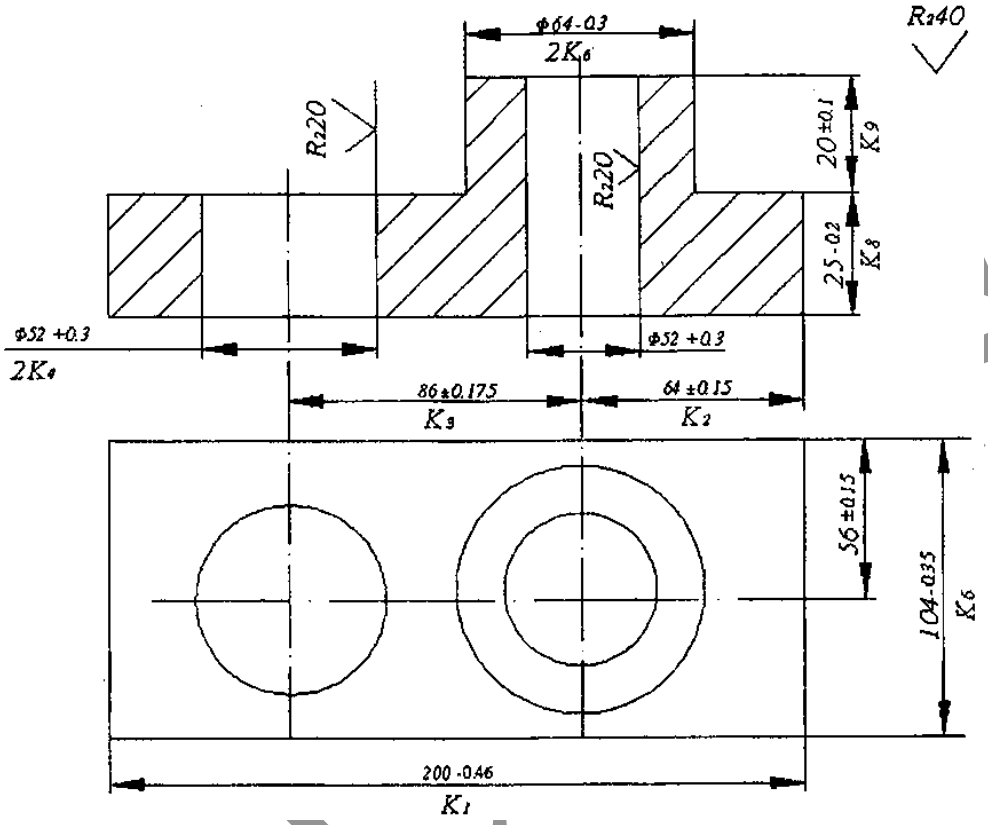


Рис. 25. Креслення деталі кришка

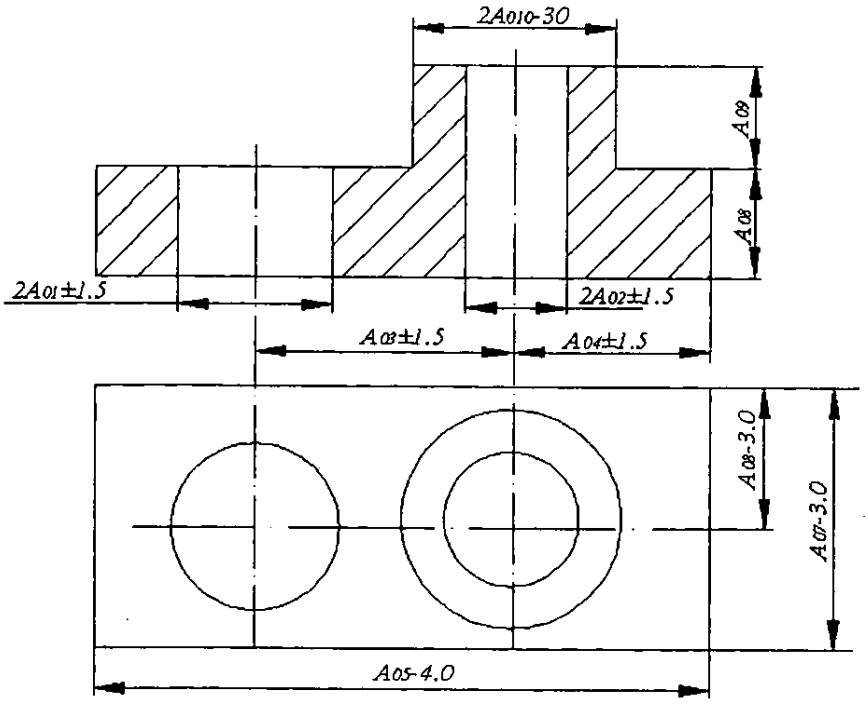


Рис. 26. Відливок

Технічні умови:

1. Глибина дефектного шару на поверхні не більше h=1000 мкм.
2. Шорсткість поверхні Rz600 мкм.
3. Допуск на розмір A складає 4 мм $(TA_{05}$=4 мм).
4. Допуски на інші розміри – 3 мм.

Використовуючи ескізи деталі 1, заготовки, а також операційні ескізи, схему обробки деталі (рис. 27), побудуємо розмірну схему і граф-дерево механічної обробки кришки вздовж осі X (рис. 28).

При побудові розмірної схеми вісь отвору $2A_{02}$ у відливку показана як O_1, вісь отвору $2A_{01}$ – O_4. Між внутрішньою поверхнею отвору $2A_{02}$ і зовнішньою поверхнею бобишки $2A_{010}$ у процесі отримання відливки виникне нерівномірність товщин стінок, утворене внаслідок зміщення осі поверхні $2A_{010}$ відносно осі поверхні $2A_{02}$. На схемі вісь поверхні $2A_{010}$ позначена O_2 і пов'язана з віссю отвору $2A_{02}$ ексцентриситетом e_1. При обробці завдяки тому, що базування кришки відбувається за її боковою поверхнею, положення осей отворів $2A_{02}$ і $2A_{01}$ зміститься відносно початкового. На схемі нове положення осей отворів позначено O_3 і O_5. Вони пов'язані з осями цих же отворів у виливку ексцентриситетами e_2 і e_3. Напрямок зміщення осей на схемі не має значення, оскільки при розрахунках номінальна величина ексцентриситетів дорівнює нулеві.

Запишемо всі початкові рівняння розмірних ланцюгів для визначення операційних (технологічних) розмірів та розмірів заготовки (табл. 14).

Таблиця 14

Початкові рівняння розмірних ланцюгів

№ з/п	Початкове рівняння розмірного ланцюга	Невідомий розмір	Допуск, мм
1	$Z_{l5.1}=A_{10.1}-A_{15.1}$	$A_{10.1}$	-1,15
2	$Z_{10.1}=A_{05}-A_{10.1}$	A_{05}	±0,2
3	$Z_{30.2}=A_{30.2}-A_{30.1}$; $Z'_{30.2}=A'_{30.2}-A'_{30.1}$;	$A'_{30.1}$, $A_{30.1}$	+0,37
4	$e_2=A_{04}-A_{05}+A_{10.1}-A_{30.4}$	A_{04}	±1,5
5	$e_3=A_{03}+A_{04}-A_{05}-A_{30.4}-A_{30.3}-A_{30.4}$	A_{03}	±1,5
6	$e_4=A_{10.1}-A_{30.3}+A_{04}-A_{05}-e_1$	e_4	
7	$Z_{30.1}=A_{30.1}+A_{30.3}-A_{02}-A_{04}-A_{10.1}+A_{05}$	A_{02}	±1,5
8	$Z'_{30.1}=A'_{30.1}+A_{30.4}+A_{30.3}-A_{10.1}+A_{05}+A_{04}-A'_{03}-A_{01}$	A_{01}	±1,5

НУМКУ

Фрезерувати площину, витримуючи розмір $A_{5.1}$.

Фрезерувати бокову поверхню, витримуючи розмір $A_{10.1}$.

Фрезерувати бокову поверхню, витримуючи розмір $A_{15.1}$.

Фрезерувати торець, витримуючи розмір $A_{20.1}$.

Фрезерувати торець, витримуючи розмір А25.1.

Технологічні переходи:

1. Розточити два отвори в розмір $2A_{30.2}$.

2. Зенкувати два отвори в розмір $2A_{30.2}$.

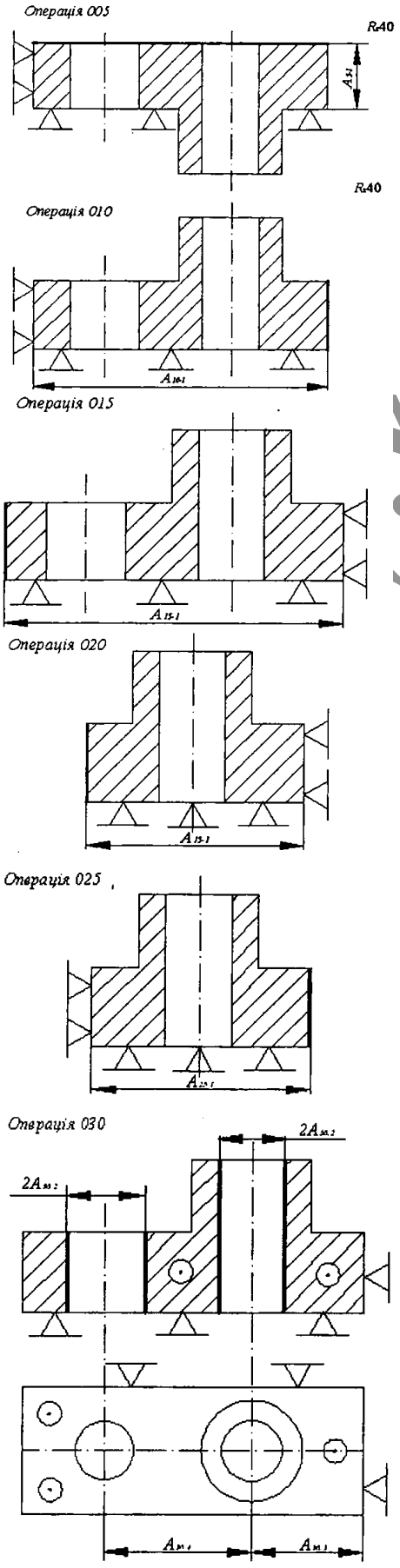
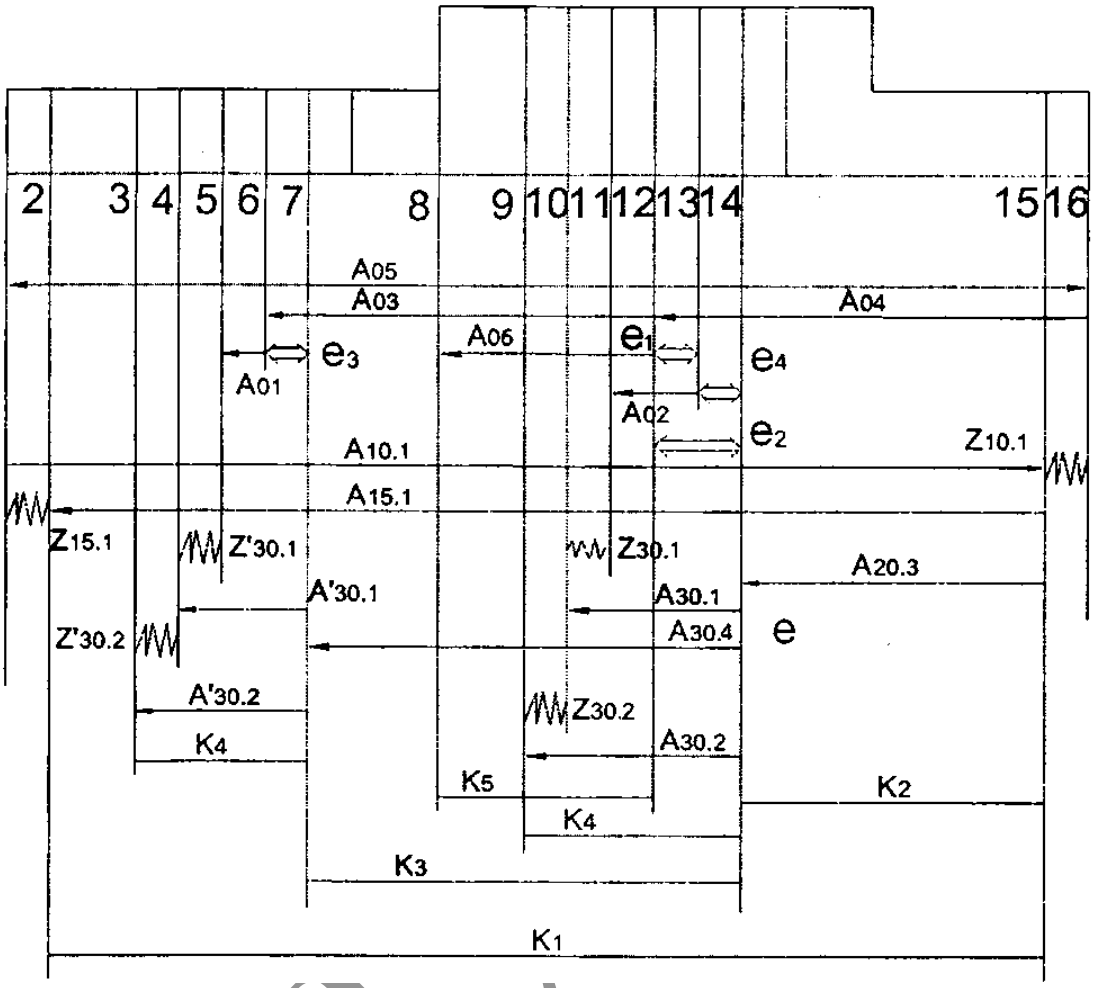
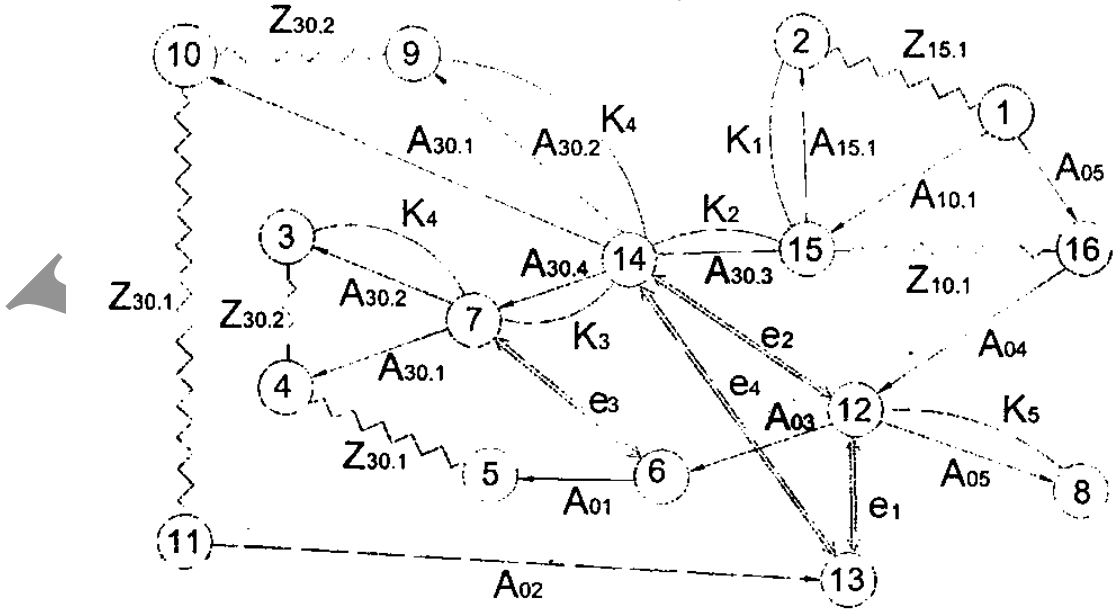


Рис. 27. Схема обробки деталі



а)



б)

Рис. 28. Аналіз технологічного процесу обробки кришки вздовж осі *X* (варіант I): *а* – розмірна схема; *б* – граф-дерево

Частина конструкторських розмірів співпадає з технологічними, отже їх точність забезпечується тільки станом технологічної системи або точністю різального інструменту (зенкера, свердла).

$$K_1=A_{15.1}=200_{-0,46}\text{ мм};\ K_3=A_{30.4}=86\pm0,175\text{ мм};$$
$$K_2=A_{30.3}=64\pm0,15\text{ мм};\ K_4=A_{30.2}=A'_{30.2}=26^{+0,15}\text{ мм};$$
$$K_5=A_{010}=32_{-0,15}\text{ мм}.$$

Мінімальний припуск:

$$Z_{30.2}=Rz_{i-1}+h_{i-1}=0,04+0,04=0,08,$$

де Rz_{i-1}=40 мкм; h_{i-1}=40 мкм – шорсткість поверхні і величина дефектного шару відповідно після розточування.

Решта мінімальних значень припусків однакові, а саме:

$$Z_{10.1}=Z_{15.1}=Z_{30.1}=0,6+1,0=1,6\text{ мм}.$$

Радіальне биття поверхні Ø64 мм відносно поверхні внутрішнього діаметра Ø52 мм знайдемо з рівняння (6) і ексцентриситету e_4. Тоді радіальне биття дорівнює $\delta=2l_4\omega$:

$$\omega l_4=TA_{10.1}+TA_{30.3}+TA_{04}+TA_{05}+Te_1=1,15+0,3+3,0+4,0+0,5=8,95\approx9\text{ мм},$$
$$\delta=18\text{ мм},$$

де e_1=0±0,25 [13, додаток 6].

Розмірну схему механічної обробки вздовж осі Y і відповідне граф-дерево приведено на рис. 29.

При побудові розмірної схеми вісь отвору $2A_{02}$ в бобишці позначено O_1, на площині вісь отвору $2A_{01}$ – O_4. Вісь діаметра бобишки $2A_{010}$ – O_2, а вісь отвору $2A_{02}$ в бобишці після обробки – O_3, O_5 – вісь отвору $2A_{01}$ після обробки.

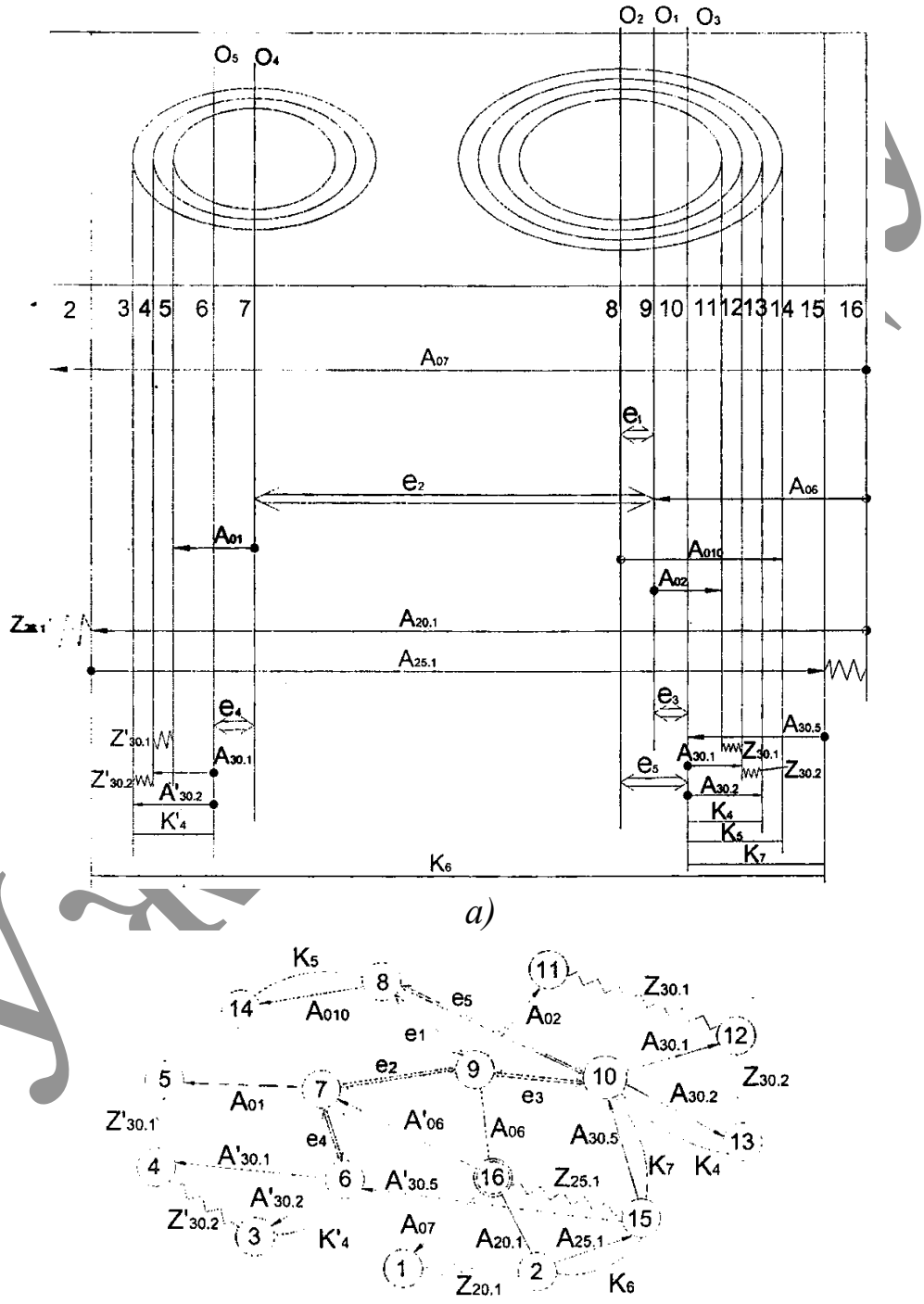
Всі конструкторські розміри співпадають з операційними і з цього погляду такий варіант технологічного процесу може бути прийнятий до впровадження. Розрахуємо всі необхідні технологічні розміри (табл. 15). Максимальне можливе відхилення від співвісності між зовнішньою поверхнею бобишки та внутрішньою поверхнею отвору у цьому випадку знайдемо з рівняння (11) табл. 15:

УжНУ МДУ

$e_5=TA_{06}+TA_{25.1}+TA_{20.1}+TA_{30.5}+e_1$=3+0,35+0,87+0,3+0,5=5,02 мм.

Повне радіальне биття рівне $\delta=2e_5$=10,04 мм.

Аналізуючи розмірні схеми, граф-дерева механічної обробки (рис. 28, 29) та розмірні ланцюги, які встановлювалися за їх допомоги, можна зробити висновок, що запропонований варіант технологічного процесу не є оптимальним.



а)

б)

Рис. 29. Аналіз технологічного процесу обробки кришки вздовж осі *Y* (варіант 1): *а* – розмірна схема, *б* – граф-дерево

Таблиця 15

Розраховані технологічні розміри

№ з/п	Початкове рівняння розмірного ланцюга	Невідомий розмір	Допуск, відхилення, мм
1	$K_4=K'_4=A_{30.2}=A'_{30.2}$	$A_{30.2}$, $A'_{30.2}$	+0,15
2	$K_5=A_{010}$	A_{010}	-0,3
3	$K_6=A_{25.1}$	$A_{25.1}$	-0,35
4	$K_7=K'_7=A_{30.5}=A'_{30.5}$	$A_{30.5}$, $A'_{30.5}$	±0,15
5	$Z_{25.1}=A_{20.1}-A_{25.2}$	$A_{20.1}$	-0,87
6	$Z_{20.1}=A_{07}-A_{20.1}$	A_{07}	-3,0
7	$e_3=A_{06}-A_{10.1}+A_{25.1}-A_{30.5}$	A_{06}	±1,5
8	$Z_{30.2}=A_{30.2}-A_{30.1}$; $Z'_{30.2}=A'_{30.2}-A'_{30.1}$	$A_{30.1}$, $A'_{30.1}$	+0,37
9	$Z_{30.1}=A_{06}-A_{02}-A_{20.1}-A_{25.1}-A_{30.5}+A_{30.2}$	A_{02}	+1,5
10	$Z'_{30.1}=A'_{30.1}+A'_{30.5}-A_{25.1}-A_{20.1}-A'_{06}-A_{01}$	A_{01}	+1,5
11	$e_5=e_1+A_{06}-A_{20.1}+A_{25.1}-A_{30.5}$	e_1	

Так, цей варіант не забезпечує співвісності різних поверхонь деталі, призводить до великого діапазону припусків.

Наприклад, діапазон зміни припуску $Z_{30.1}$ за другою схемою становить:

$$\omega Z_{30.1}=TA_{02}+TA_{06}+TA_{25.1}+TA_{20.1}+TA_{20.1}+TA_{30.5}+TA_{30.1}=$$
$$=1,5+3+0,35+0,87+0,3+0,37=6,39 \text{ мм}.$$

Це пояснюється тим, що розмірні ланцюги мають велику кількість ланок. Для поліпшення технологічного процесу необхідно запропонувати такий варіант, при якому розмірні ланцюги мали б мінімальну кількість ланок. Цього можна досягнути зміною схеми базування, а також зміною послідовності обробки різних поверхонь. Приклад наведений для того, щоб показати методику побудови розмірних схем, коли при обробці трапляються як плоскі, так і циліндричні внутрішні поверхні.

Приклад 3. Вплив технічних умов на розмірний аналіз.

Мета цього прикладу – продемонструвати, яким чином вплинуть на структуру технологічного процесу механічної обробки технічні умови на виготовлення деталі. Сформулюємо технічну умову для виготовлення кришки (рис. 25). Допуск співвісності зовнішнього діаметра бобишки та внутрішнього діаметра кришки не повинен бути

більшим 1 мм. Для реалізації цієї умови змінимо технологічний процес механічної обробки. Новий варіант технології у вигляді ескізів приведено на рис. 30.

1. Фрезерувати площину в розмір $A_{5.1}$.

1. Розточити два отвори в розмір $2A_{10.1}$, витримуючи розмір $A_{10.3}$.
2. Зенкерувати два отвори в розмір $2A_{10.2}$, витримуючи розмір $A_{10.3}$.

Технічні умови

1. Допуск співвісності поверхонь $2A_{10.1}$ та $2A_{10.2}$ = 1 *мм*.
2. Допуск співвісності поверхонь $2A_{10.2}$ та $2A_{10.3}$ =1 *мм*.

Примітка: опорна база (зрізаний палець) - опорна точка 6. "Чорнова" база.

1. Фрезерувати торець в розмір $A_{15.1}$.

Примітка: установочна база - опорні точки 1, 2, 3. Подвійна опорна база (круглий палець) - опорні точки 4, 5. Опорна база (зрізаний палець) - опорна точка 6.

1. Фрезерувати торець в розмір $A_{20.1}$.

Примітка: установочна база - опорні точки 1, 2, 3. Направляюча база - опорні точки 4, 5. Опорна база (зрізаний палець) - опорна точка 6.

1. Фрезерувати бокову поверхню, витримуючи розмір $A_{25.1}$.

2. Фрезерувати бокову поверхню, витримуючи розмір $A_{25.2}$.

Примітка: схема базування подібна до тієї, яка використовувалась на операції 020.

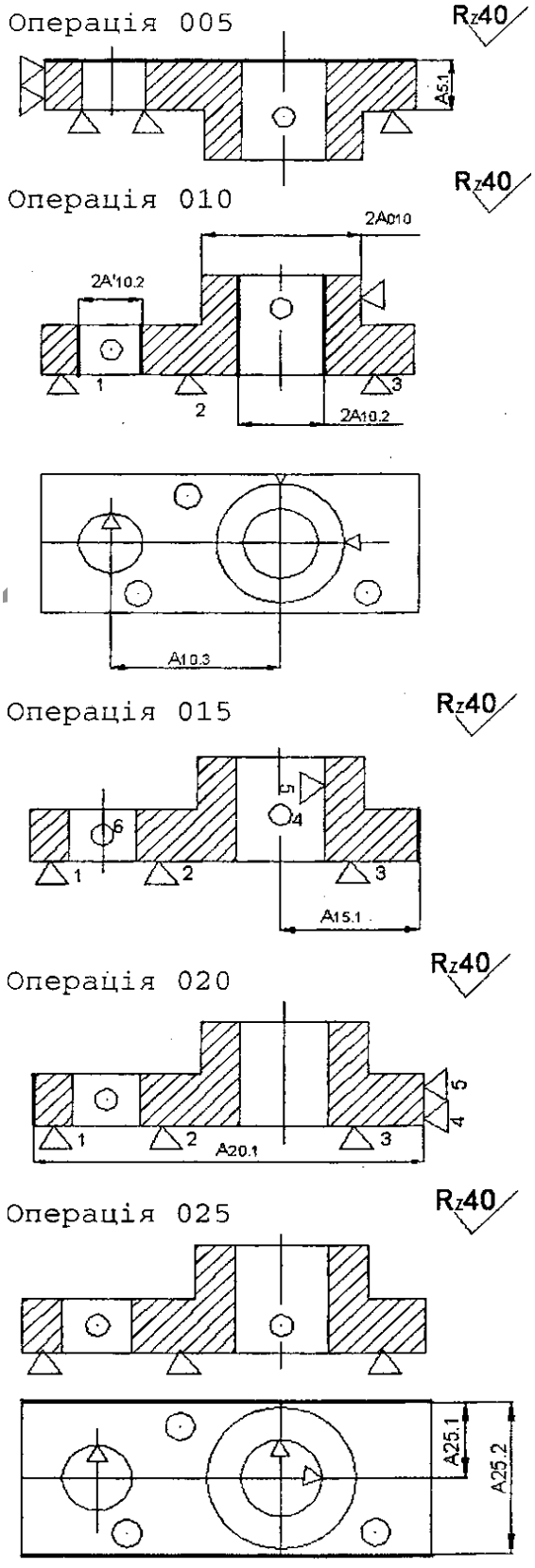


Рис. 30. Аналіз технологічного процесу обробки кришки вздовж осі *X* (варіант 2): *а* – розмірна схема, *б* – граф-дерево

Розмірну схему 1 (у напрямку координатної осі *X)* та граф-дерево механічної обробки приведено на рис. 31.

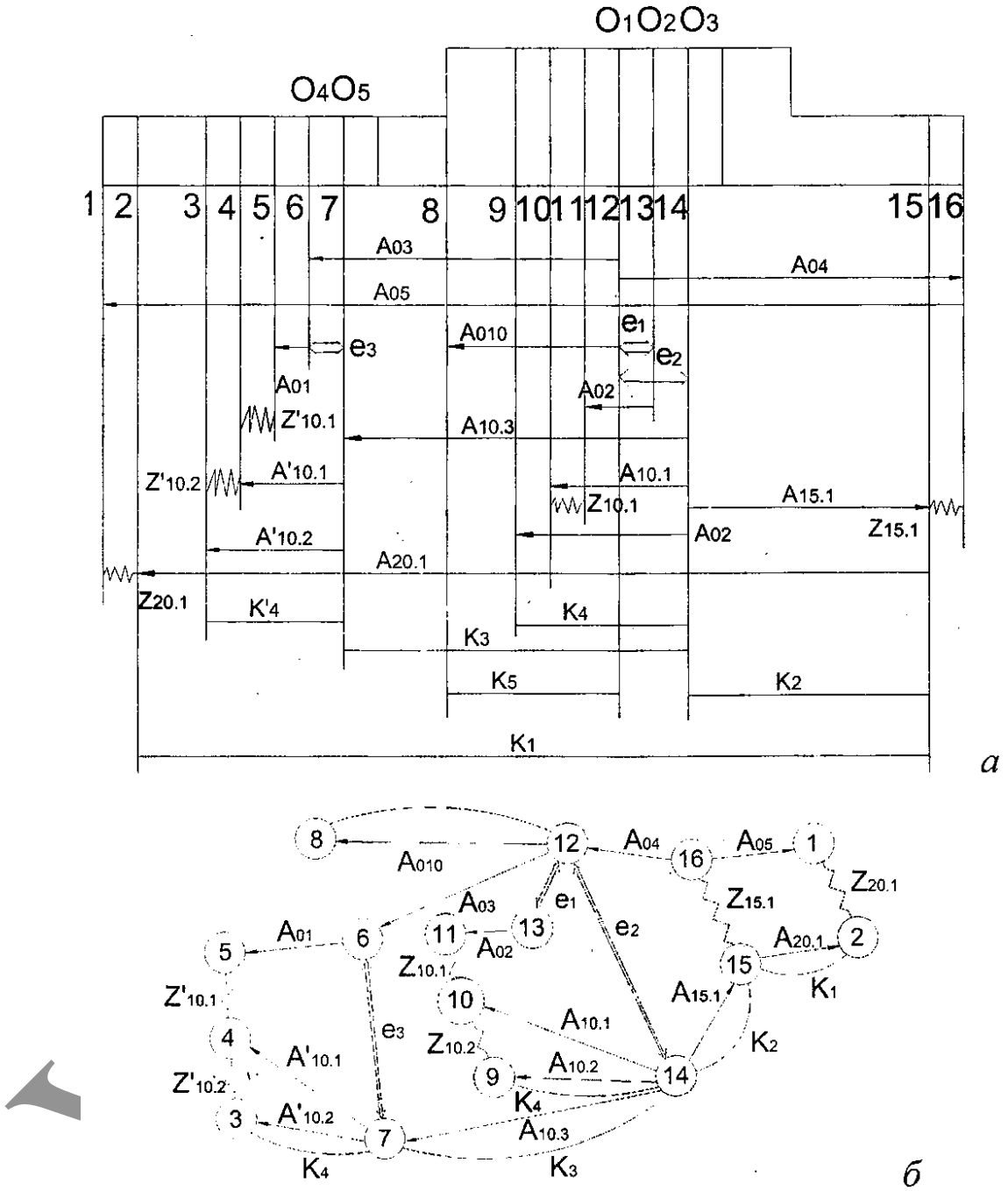


Рис. 31. Аналіз технологічного процесу обробки кришки вздовж осі *X* (варіант 2): *а* - розмірна схема, *б* - граф-дерево

У розмірній схемі замикаючими ланками будуть припуски, а також неспіввісність e_3. Неспіввісність e_1 та e_2 завдана технічними умовами на операцію 010 і вона стає відомою з номінальними значеннями, які дорівнюють нулеві та симетричним розподілом.

Для визначення технологічних розмірів необхідно записати і послідовно розв'язати рівняння розмірних ланцюгів. Аналіз розмірної схеми та граф-дерева механічної обробки показує, що у такому варіанті технологічного процесу всі конструкторські розміри співпадають з технологічними, тобто їх точність буде гарантована точністю технологічної системи.

$A_{10.2}=A'_{10.2}=K_4=K'_4=26^{+0,15}$ мм; $A_{10.3}=K_3=86\pm0,175$ мм;
$A_{15.1}=K_2=64\pm0,15$ мм; $A_{20.1}=K_1=200_{-0,46}$ мм;
$A_{010}=K_5=32_{-1,5}$ мм.

Припуски для чистової обробки:

$Z_{10.2}=Z'_{10.2}=0,08$ мм;
($Rz_{i-1}=40$ мкм, $h_{i-1}=40$ мкм).

При чорновій обробці всі припуски у розмірній схемі однакові і дорівнюють $Z=1,6$ мм ($Rz_{i-1}=600$ мкм, $h_{i-1}=1000$ мкм). Всі початкові рівняння розмірних ланцюгів виокремимо з розмірної схеми або граф-дерева і занесемо в табл. 16.

Таблиця 16

Початкові рівняння розмірних ланцюгів і зведені дані розрахунків

№ з/п	Початкове рівняння розмірних ланцюгів	Невід. розмір A_i	Допуск (мм) і знак відхил.	Коливання замик. ланки ω	Z_{max}
1	$Z_{l0.2}=Z'_{l0.2}=A_{10.2}-A_{10.1}$	$A_{10.1}$	+0,37	0,52	0,6
2	$Z_{15.l}=A_{04}-e_2-A_{15.1}$	A_{04}	±1,5	4,3	5,9
3	$Z_{20.1}=A_{15.1}-A_{20.1}+e_2-A_{04}+A_{05}$	A_{05}	-0,4	8,76	10,4
4	$e_3=A_{03}+e_2-A_{10.3}$	A_{03}	±1,5		
5	$Z_{10.1}=A_{10.1}-e_2+e_1-A_{02}$	A_{02}	+1,5	3,87	5,47
6	$Z_{10.1}=A_{10.1}+A_{10.3}-e_2-A_{03}-A_{01}$	A_{01}	+1,5	6,22	7,82

Для прикладу розв'яжемо тільки перше рівняння.

$Z_{10.2}=Z'_{10.2}=A_{10.2}-A_{10.1}$; $Z^{min}_{10.2}=A^{min}_{10.2}-A^{max}_{10.1}$;
$A^{max}_{10.1}=A^{min}_{10.2}-Z^{min}_{10.2}=26-0,08=25,92$ мм;
$A^{min}_{10.1}=A^{max}_{10.1}-TA_{10.1}=25,92-0,37=25,55$ мм;
$A_{10.1}=A'_{10.1}=25,55^{+0,37}$ мм.

Зміни припуску становлять

$$\omega Z_{10.2}=\omega Z'_{10.2}=TA_{10.1}+TA_{10.2}=0{,}37+0{,}15=0{,}52 \text{ мм};$$
$$Z^{max}_{10.2}=Z'^{max}_{10.2}=0{,}52+0{,}08=0{,}6 \text{ мм}.$$

Розмірний ланцюг у зв'язку із неспіввісністю e_3 буде значно коротший, але скористатися цим неможливо тому, що ланка e_3 – замикаюча у розмірному ланцюзі 4.

На рис. 32 приведена розмірна схема технологічного процесу і граф-дерево у напрямку осі *Y* (варіант 2).

$$A_{10.2}=A'_{10.2}=K_4=K'_4=26^{+0,15} \text{ мм}; \; A0_{10}=K_5=32_{-1,5} \text{ мм};$$
$$A_{25.1}=K_7=56\pm0{,}15 \text{ мм}; \; A_{25.2}=K_8=104_{-0,35} \text{ мм}.$$

Враховуючи, що значення всіх припусків дорівнює припускам у розмірній схемі 1, технологічні розміри $A_{10.1}=A'_{10.1}$ будуть такими ж, як і на схемі 1.

$$A_{10.1}=A'_{10.1}=25{,}55^{+0,37} \text{ мм}; \; e_3=0\pm0{,}5 \text{ мм}.$$

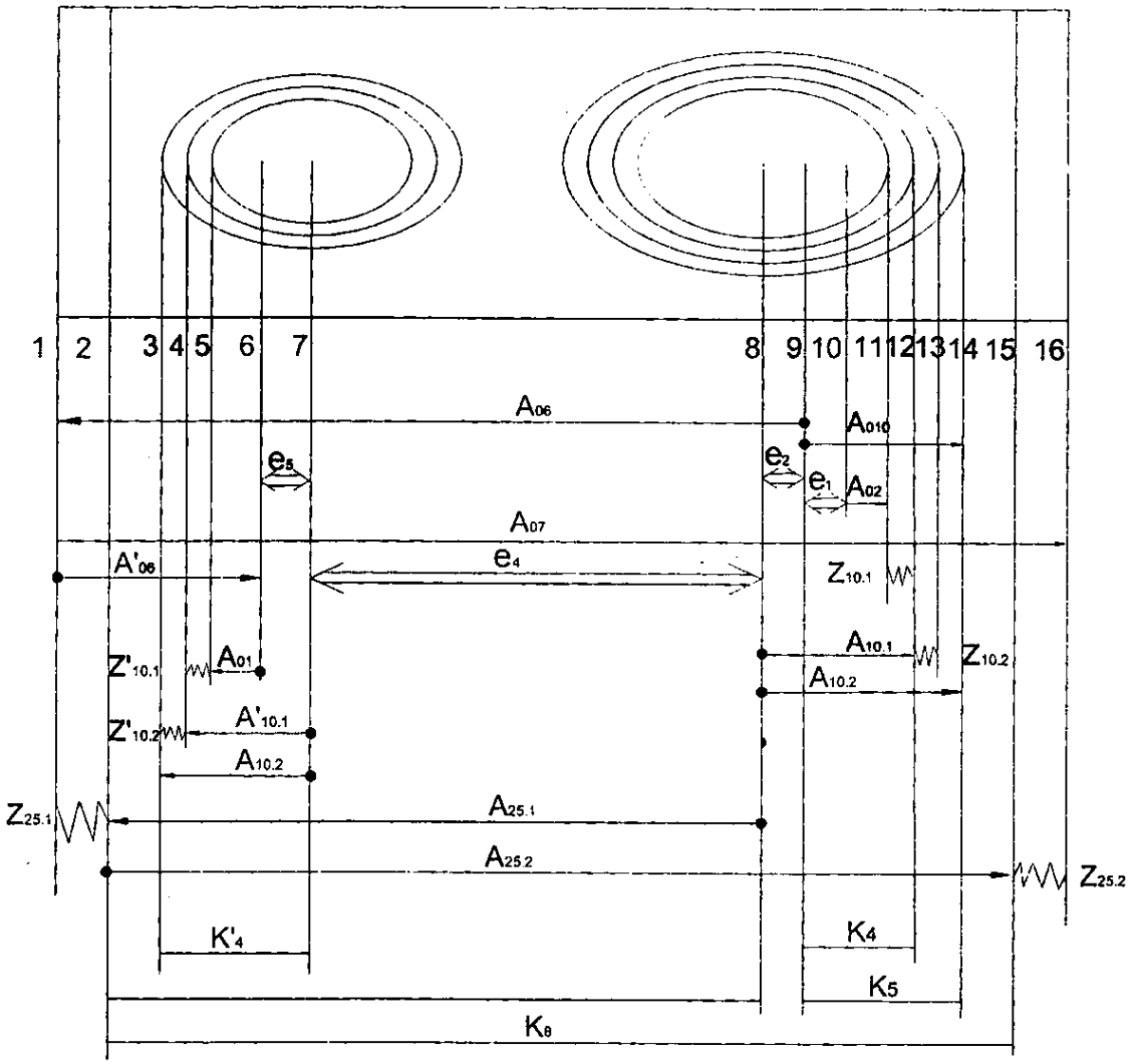
Неспіввісність *e* задається технічними умовами на операцію 010, оскільки схемою базування передбачено розташування опорної точки на внутрішній поверхні у напрямку *Y*.

Таблиця 17

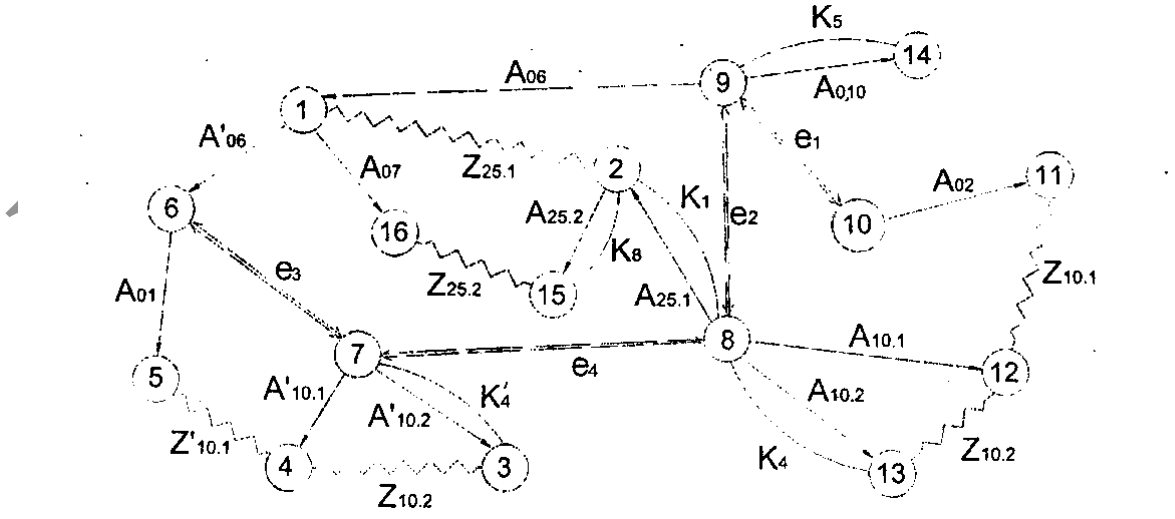
№ з/п	Початкове рівняння розмірних ланцюгів	Невід. розмір A_i	Допуск, мм і знак відхил.	Зміна замик. ланки ω	Z_{max}
1	$Z'_{10.1}=A'_{10.1}-e_3-A_{01}$	A_{01}	+1,5	2,87	4,47
2	$Z_{25.1}=-A'_{25.1}-e_2+A_{06}$	A_{06}	-3	4,3	5,9
3	$Z_{25.2}=-A_{25.2}+A_{25.1}+e-A_{06}+A_{07}$	A_{07}	-3	7,15	8,75
4	$e_4=-e_2+A_{06}-A'_{06}-e_3$	A	-3	4,3	5,9

Випишемо технологічні розміри за схемами 1 та 2.

Враховуючи дані табл. 18, остаточно оформляємо операційні ескізи та креслення заготовки, проставивши дійсні значення технологічних розмірів. Крім цього при оформленні креслення заготовки вказуємо номінальні значення припусків з верхнім і нижнім відхиленнями.



а)



б)

Рис. 32. Аналіз технологічного процесу обробки кришки вздовж осі *Y* (варіант 2): *а* – розмірна схема, *б* – граф-дерево

Таблиця 18

Варіанти схем розмірного аналізу

Розмір	Схема 1	Схема 2	Схема 3
A_{01}	$20{,}3^{+1{,}3}$	$22^{+1{,}5}$	$20{,}3^{+1{,}5}$
A_{02}	$22{,}4^{+1{,}5}$	$22{,}4^{+1{,}5}$	$22{,}4^{+1{,}5}$
A_{03}	86±1,5	-	86±1,5
A_{04}	67,75±1,5	-	67,75±1,5
A_{05}	210_{-4}	-	210_{-4}
A_{06}	-	$60{,}8_{-3}$	$60{,}8_{-3}$
A_{07}	-	113_{-3}	113_{-3}
A_{010}	$32_{-1{,}5}$	$32_{-1{,}5}$	$32_{-1{,}5}$
$A_{10.1}$	$25^{+0{,}37}$	$25{,}6^{+0{,}37}$	$25{,}6^{+0{,}37}$
$A_{10.2}$	$26^{+0{,}15}$	$26^{+0{,}15}$	$26^{+0{,}15}$
$A_{10.3}$	86±0,175	-	86±0,175
$A_{15.1}$	64±0,15	-	64±0,15
$A_{20.1}$	200	-	$200_{-0{,}46}$
$A_{25.1}$	-	56±0,15	56±0,15
$A_{25.2}$	-	$104_{-0{,}35}$	$104_{-0{,}35}$
$2A_{01}$	40,6	$40{,}6^{+0{,}3}$	$40{,}6^{+0{,}3}$
$2A_{02}$	44,8	$44{,}8^{+3}$	$44{,}8^{+3}$
$2A_{010}$	64	64_{-3}	64_{-3}
$2A_{10.1}$	51,2	$51{,}2^{+0{,}74}$	$51{,}2^{+0{,}74}$
$2A_{10.2}$	52	$52^{+0{,}3}$	$52^{+0{,}3}$

Номінальне значення припусків знаходиться як середнє арифметичне із Z^{max} та Z^{min}.

Наприклад (див. табл. 17):

$$Z^{min}{}_{25.3}=1{,}6 \text{ мм}; \; Z^{max}{}_{25.2}=8{,}75 \text{ мм};$$
$$Z^{ном}{}_{25.2}=(1{,}6+8{,}75)/2=5{,}175\approx 5{,}2 \text{ мм}.$$

Можливий діапазон припуску рівний

$$\omega Z_{25.2}=7{,}15\approx 7{,}2 \text{ мм};$$
$$|BBZ_{25.2}|=|HBZ_{25.2}|=\omega Z_{25.2}/2=7{,}2/2=3{,}6 \text{ мм}.$$

Таким чином $Z_{25.2}=5{,}2\pm 3{,}6$ мм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Балакшин Б.С. Теория и практика технологии машиностроения: Основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 1982. – 367 с.
2. Бондаренко С.Г. Розмірні розрахунки механоскладального виробництва: Навч. посібник. – К.: ІСДО, 1993. – 544 с.
3. Веткасов Н.И., Псигин Ю.В. Применение методов теории графов и линейного программирования для решения производственных и технологических задач // Методические указания. – Ульяновск: УлГТУ, 2001. – 36 с.
4. Герасимчук О.О. Розрахунок розмірних ланцюгів // Методичні вказівки. – Луцьк: ЛДТУ, 2003. – 36 с.
5. Герасимчук О.О., Рудь В.Д. Аналіз і розрахунок розмірних ланцюгів в системах автоматизованого проектування // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник. – Луцьк: ЛДТУ, 2003. – Вип. 13. – С. 48-56.

1999. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Расчет допусков размеров. М.: Машиностроение, 1981. – 189 с.

6. Жигалов Б.К., Лещинер Е.Г. Применение графов в размерных расчетах // Учебное пособие. – Томск: ТПИ, 1978. – 80 с.
7. Иващенко И.А. Технологические размерные расчеты и способы их автоматизации. – М.: Машиностроение, 1975. – 221 с.
8. Размерный анализ конструкций: Справочник / С.Г. Бондаренко, О.Н. Чередников, В.П. Губий, Т.М. Игнатцев; Под ред. С.Г. Бондаренко. – К.: Техника, 1989. – 150 с.
9. Размерный анализ технологических процессов / В.В. Матвеев, М.М. Тверской, Ф.И. Бойков и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с.
10. Рудь В.Д. Курсове проектування з технології машинобудування: Навч. посібник. – К.: ІСДО, 1996. – 300 с.
11. Солонин И.С., Солонин С.И. Расчет сборочных и технологических размерных цепей. – М.: Машиностроение, 1980. – 110 с.
12. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. / Под ред. А.Г.Косиловой, Р.К.Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985.
13. Цепи размерные. Основные понятия, методы расчета линейных и угловых цепей. Методические указания РД 50-635-87 / И.М. Колесов, Е.И. Луцков, А.И. Кубарев и др. – М.: Изд-во стандартов. – 42 с.
14. Шамин В.Ю. Теория и практика решения конструкторских и технологических размерных цепей: Учеб. пособие в 3-х ч. – Челябинск: ЧПИ, 1986. – 1800 с.

УкНУМіУ

15. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М.: Машиностроение, 1986. – 353 с.

16. Thomas J. Drosda "Pre-prove" Your process? Test it with a tolerance Chart. Production on January. 1978. – P. 70-74.

17. Адаптивное управление металлорежущими станками / [Бронштейн Г.В., Городецкий М.С. и др.]. – М.: НИИМаш, 1973. – 227 с.

18. Адаптивное управление технологическими процессами / [Соломенцев Ю.М., Митрофанов В.Г., Протопопов С.П. и др.]. – М.: Машиностроение, 1980. – 536 с.

19. Билик Ш.М. Макрогеометрия деталей машин. / Ш.М. Билик. – М.: Машиностроение, 1973. – 344 с.

20. Гавриш А.П. Автоматизация технологической подготовки машиностроительного производства/А.П. Гавриш. – К.: Техника, 1982. – 215 с.

21. Ашихмин В. Н. Размерный анализ технологических процессов / Ашихмин В.Н. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 60 с.

22. Размерный анализ технологических процессов. Сборник практических работ / Беляев Г. Я. и др. – Минск: БНТУ, 2010. – 351 с.

23. Емельянов С.Г. Размерный анализ в машиностроении / Емельянов С.Г. – 2012. – 332 с.

24. Кравченко Л.С. Размерный анализ при проектировании, изготовлении и сборке. Учебное пособие / Кравченко Л.С. – Харьков: ХПИ, 2006. – 352 с.

25. Методические указания. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей / Государственный комитет СССР по стандартам. РД 50-635-87. – М., 1987 – 45 с.

26. Жигуц Ю.Ю., Рудь В.Д. Розмірне і математичне моделювання та аналіз. Частина 1. Розмірний аналіз деталей та конструкцій / Ю.Ю. Жигуц, В.Д. Рудь. 2-ге вид., перероб. і доповнене – Київ: Кондор-Віола, 2019. − 160 с.

27. Демкин Н.Б. Качество поверхности и контакт деталей машин / Н.Б. Демкин, Э.В. Рыжов. – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с.

28. Колев К.С. Точность обработки и режимы резания / К. С. Колев, JIH. Горчаков. – М.: Машиностроение, 1976. – 144 с.

29. Корсаков В.С. Точность механической обработки / В.С. Корсаков. – М.: Машиностроение, 1971. – 379 с.

30. Маталин А. А. Качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей машин / А.А. Маталин. – М.-JL: Машгиз, 1956. – 252 с.

УжНУ МЦУ

31. Маталин А.А. Точность механической обработки и проектирование технологических процессов / А.А. Маталин. – Jl: Машиностроение, 1970. – 318 с.

32. Маталин, А. А. Технология машиностроения: учебник / А. А. Маталин. – Л. : Машиностроение, 1985. – 496 с.

33. Егоров, М. Е. Технология машиностроения: учебник / М. Е. Егоров, В. Л. Дмитриев, В. И. Дементьев; под ред. М. Е. Егорова. – М. : Высш. школа, 1976. – 536 с.

34. Новиков, М. П. Основы технологии сборки машин и механизмов /М. П. Новиков – 4 изд., М., 1969. – 480 с.

35. Основы технологии машиностроения / [Кован В.М. и др.]. – М.: Машиностроение, 1965. – 521 с.

36. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / [К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шефер и др.] – М.: Мир, 1977. – 447 с.

37. Технологические основы обеспечения качества машин / [Колесников К.С. и др.]. – 1990. – 256 с.

38. Технология машиностроения / [А.В. Якимов, В.Н. Царюк, А.А. Якимов и др.]. – Одесса : Астропринт, 2001. – 601 с.

39. Технология машиностроения: [Учебник] / А.В. Якимов, А.А. Якимов, В.П. Ларшин, В.Н. Свирщев. – Пермь, 2002. – 563 с.

40. Якимов А.В. Обоснование маршрута обработки и размерный анализ технологических процессов : [Учебное пособие] / А.В. Якимов, П.А. Линчевский, А.А. Якимов. – К.: НМК. ВО, 1993. – 128 с.

41. Balázs L., Pap L. Néhány mikrogeometriai jellemző elméleti értekének meghatározása esztergáláskor is gyaluláskor. - Nehézipari must. Igyet. Korl. sorozat. – 1978. – № 2. – P. 97-121.

42. Jaeschke J.R., Zimmerly R.D., Wu S.M. Automatische Regelung der Werkzengtemperatur (engl.), Jut. J. Masch. Tool, Des. Rev. – 1967. – Vol. 7. – S. 465-475.

АКНУиДУ

ДОДАТКИ

Додаток 1

Значення одиниці допуску *i* в діапазоні до 400 мм

Основні інтервали номінальних розмірів, мм	Більше – до											
		3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315
	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400
Значення *i,* мкм	0,55	0,73	0,90	1,08	1,31	1,56	1,86	2,17	2,52	2,90	3,23	3,54

Додаток 2

Орієнтована річна програма випуску деталей за типами виробництва в механічних цехах, шт.

Максимальна маса оброблюваної заготовки (деталі), кг	Тип виробництва		
	Одиничне	Дрібносерійне	Середньосерійне
До 200	До 1000	1001...5000	5001...10000
201...2000	≥20	21...500	501...1000
2001... 3000	≥5	6...100	101...300

Максимальна маса оброблюваної заготовки (деталі), кг	Тип виробництва	
	Крупносерійне	Масове
До 200	10001...100000	Більше ніж 100000
201...2000	1001...5000	≥5000
2001... 3000	301...1000	≥1000

Додаток 3

Наближені формули для визначення норм часу при обробці поверхні

Таблиця Д.3.1

Основний технологічний час, $T_o \cdot 10^3$ хв.

Назва операції або переходу	Розрахункова формула
1	2
Чорнове обточування за один прохід	$0{,}17d \cdot l$
Чорнове обточування за 11-м квалітетом	$0{,}1d \cdot l$
Чорнове обточування за 9-м квалітетом	$0{,}17d \cdot l$
Чорнова підрізка торця *Ra* 6,3	$0{,}037(D-d)$
Чистова підрізка торця *Ra* 1,6	$0{,}052(D-d)$
Відрізання	$0{,}19D$

Продовження табл. Д.3.1

1	2
Чорнове та чистове обточування фасонним різцем	0,63(D-d)
Шліфування чорнове за 11-м квалітетом	0,07$d \cdot l$
Шліфування чистове за 9-м квалітетом	0,1$d \cdot l$
Шліфування чистове за 6-м квалітетом	0,15$d \cdot l$
Розточування отворів на токарному верстаті	0,18$d \cdot l$
Свердління отворів	0,52$d \cdot l$
Розсвердлювання отворів Ø20...60 мм	0,31$d \cdot l$
Зенкерування	0,21$d \cdot l$
Розточування чорнове	0,43$d \cdot l$
Розточування чистове	0,86$d \cdot l$
Внутрішнє шліфування отворів 9-го квалітету	1,5$d \cdot l$
Внутрішнє шліфування отворів 7-го квалітету	1,8$d \cdot l$
Чорнове розточування чорнових отворів за один прохід Ra12,5	0,2$d \cdot l$
Чорнове розточування під розвертування	0,3$d \cdot l$
Розточування плаваючою розверткою за 9-м квалітетом	0,27$d \cdot l$
Розточування плаваючою розверткою за 7-м квалітетом (де d – діаметр; l – довжина оброблюваної поверхні; D – діаметр оброблюваного торця)	0,52 $d \cdot l$
Протягування отворів і шпонкових канавок (l – довжина протяжки, мм)	0,4l
Стругання чорнове на поздовжньо-стругальних верстатах	0,065$B \cdot l$
Стругання чистове під шліфування або шабріння	0,034$B \cdot l$
Фрезерування чорнове торцевою фрезою:	
За прохід Чистове	6l 4l
Фрезерування чорновою циліндричною фрезою	7l
Шліфування площин торцем круга (B – ширина оброблюваної поверхні, мм; l –довжина оброблюваної поверхні, мм)	2,5l
Фрезування зубів черв'ячною фрезою (Ø80...300 мм)	2,2$D \cdot d$
Обробка зубів черв'ячних коліс (Ø100...400 мм), де D – діаметр зубчастого колеса, мм; b – довжина зуба, мм	60,3D
Фрезерування шліцьових валів методом обкатування	9$l \cdot z$
Шліцешліфування (де l – довжина шліцьового валу, мм; z – кількість шліців)	4,6$l \cdot z$
Нарізання різьби на валу (Ø32...120 мм)	19$d \cdot l$
Нарізання мітчиком різьби у отворах (Ø10...24 мм), де d – діаметр різьби, l – довжина різьби, мм)	0,4$d \cdot l$

Таблиця Д.3.2

Значення коефіцієнта φ

Види верстатів	Виробництво	
	Одиничне і дрібносерійне	Крупносерійне
Токарні	2,14	1,36
Токарно-револьверні	1,98	1,35
Токарно-багаторізцеві	-	1,50
Револьверно-свердлильні	1,72	1,30
Радіально-свердлильні	1,75	1,41
Розточувальні	3,25	-
Круглошліфувальні	2,10	1,55
Стругальні	1,73	-
Фрезерні	1,84	1,51
Зуборізні	1,66	1,27

Примітка. Штучно-калькуляційний час $T_{шт.к.}=\varphi \cdot T_o$.

Таблиця Д.3.3

Ефективні (дійсні) річні фонди часу роботи обладнання для 41-годинного тижня з врахування святкових днів у році, год.

Обладнання або робоче місце	Кількість робочих змін	
	Дві	Три
1. Механічні цехи		
Металорізальні верстати масою, т:		
до 10	4055	6055
від 10 до 100	3975	5930
більше ніж 100	3810	5650
Унікальне й особливо складне металорізальне обладнання, металорізальні верстати з ЧПК і багатоцільові верстати масою, т:		
до 10	3935	5835
від 10 до 100	3850	5715
більше ніж 100	3725	5525
ГВК	-	5715
Агрегатні верстати	4015	5990
Автоматичні лінії механічної обробки	3725	5465
2. Складальні цехи		
Робочі місця без механізованих пристроїв	4140	621
Робочі місця з механізованими пристроями	4080	608
Випробні стенди	3975	593
Автоматичні складальні лінії	3725	546
Випробні стенди	4015	5990
Потоково-механізовані складально-зварювальні лінії	3725	5525

Примітка. Основний режим роботи обладнання – двозмінний; тризмінний режим роботи обладнання застосовується, як правило, для ліквідації вузьких місць виробництва.

Додаток 4

Таблиці економічної точності обробки на металорізальних верстатах

Таблиця Д.4.1

Середня точність обробки і шорсткість обробленої поверхні при обробці зовнішніх поверхонь тіл обертання

Спосіб обробки	Квалітет	Параметр шорсткості *Ra*, мкм
Обточування одноразове	12	6,3
Обточування попереднє Обточування чистове	11…10	3,2
Обточування одноразове Шліфування одноразове	10…8	1,6...0,8
Обточування попереднє Обточування чистове Шліфування одноразове	8...6	0,8
Обточування попереднє Обточування чистове Обточування тонке	7...8	0,4
Обточування попереднє Шліфування попереднє Шліфування тонке	7...8	0,4
Обточування попереднє Обточування чистове	6	0,4
Обточування попереднє Обточування чистове Шліфування попереднє Шліфування тонке	6...7	0,2
Обточування попереднє Обточування чистове Шліфування попереднє Шліфування чистове Шліфування тонке	5	0,2...0,1

Таблиця Д.4.2

Середня точність і шорсткість обробки плоских поверхонь

Спосіб обробки	Квалітет	Параметр шорсткості *Ra*, мкм
1	2	3
Стругання та фрезерування циліндричними і торцевими фрезами:		
чорнове	14...11	12,5...3,2
напівчистове і	12...11	3,2...1,6
одноразове	10	1,6...0,8
чистове	8...6	1,6..Д2
Протягування:		
чорнових литих та штампованих поверхонь	11...10	3,2...1,6
чистове	8...6	1,6...0,4

Продовження табл. Д.4.2

1	2	3
Шліфування:		
одноразове	8...7	1,6...0,4
попереднє	9...8	0,8...0,4
чистове	7	0,4...0,1
тонке	6	0,2...0,05

Таблиця Д.4.3

Середня точність і шорсткість обробки різьбових поверхонь

Спосіб обробки	Квалітет	Параметр шорсткості *Ra*, мкм
Круглими плашками	8g	12,5...6,3
Мітчиками	6H	6,3...3,2
Фрезерування:		
дисковими фрезами	6g	6,3...1,6
гребінчастими	6g	6,3...3,6
Точіння:		
різцями	4h	3.2...0.8
гребінками	6g	6.3...0.8
різцями, що обертаються (вихровий метод)	6g	6,3...1,6
головками, які розкриваються	4g	6,3...1,6
Накатування:		
плоскими плашками	6g	0,8…0,4
різьбонакатними роликами	6g...4g	0,8…0,2

Таблиця Д.4.4

Середня точність обробки зубчастих коліс

Спосіб обробки	Квалітет	Параметр шорсткості *Ra*, мкм
1	2	3
Фрезерування:		
попереднє	9...10	12,5...3,2
чистовою дисковою	8...9	6,3...1,6
чистовою черв'ячною фрезою	7...8	6,3...1,6

Продовження табл. Д.4.4

1	2	3
Довбання чистове	6...8	3,2...0,8
Протягування	6...7	3,2...0,8
Стругання чистове	5...7	3,2...0,8
Шевінгування	6...1	1,6...0,4
Шліфування	4...5	0,8...0,2

Таблиця Д.4.5

Середня точність і шорсткість обробленої поверхні циліндричних отворів

Спосіб обробки	Квалітет	Параметр шорсткості Ra, мкм
1	2	3
Свердління	12	25…12,5
Свердління і зенкерування	11	6,3...3,2
Свердління і відсортування	8...9	3,2...1,6
Свердління і протягування	8...9	3,2...1,4
Свердління, зенкерування і розвертування	8...9	1,6...0,8
Свердління і дворазове розвертування	8...9	0,8...0,4
Свердління, зенкерування і дворазове відсортування	8...9	0,8...0,4
Свердління, зенкерування і шліфування	8...9	0,8...0,4
Свердління, протягування і калібрування	8...9	0,8...0,4
У заготовках з отвором		
Зенкерування або розточування	12	6,3...3,2
Розсвердлювання	12	25...6,3
Дворазове зенкерування або дворазове розточування	11	12,5...6,3
Зенкерування або розточування і розвертування	9...8	3,2...1,6
Зенкерування і розточування	9...8	6,3...3,2
Дворазове зенкерування і розвертування або дворазове розточування і розвертування	9...8	1,6...0,8

Продовження табл. Д.4.5

1	2	3
Зенкерування або розточування і дворазове розвертування	8...7	0,8...0,4
Зенкерування або дворазове розточування і дворазове розвертування або тонке розточування	8...7	0,8...0,2
Зенкерування або дворазове розточування і хонінгування	8...7	0,2...0,005
Зенкерування і розточування, тонке розточування і хонінгування	8...7	0,1...0,025
Прогресивне протягування і шліфування	8...7	0,8...0,2

Таблиця Д.4.6

Комплекти параметрів якості поверхні на суміжних переходах

Перехід			
Виконуваний		Попередній	
Квалітет точності	Параметр шорсткості	Квалітет точності	Параметр шорсткості
5	*Ra*0,16	8	*Ra*0,63
6	*Ra*0,32	11	*Ra*l,25
7	*Ra*0,63	13	*Ra*2,5
8	*Ra*l,25	15	*Ra*20
11...13	*Ra*40	14...16	*Ra*80
11...13	*Rz*20, *Ra*2,5	14...16	*Ra*40

Додаток 5

Параметри шорсткості і глибини дефектного шару

Таблиця Д.5.1

Шорсткість *Rz* і величина дефектного шару *H* поверхонь отриманих на заготівельних операціях

Заготівельна операція	*Rz*, мкм	*H*, мкм
1	2	3
Литво:		
відцентрове	40...100	100...200
за виплавлюваними моделями	10...40	80...150
В форми:		
оболонкові	20...80	150...250
металеві	100...200	100...300
під тиском	10...40	80...150

Продовження табл. Д.5.1

1	2	3
Піщаноглинисті при формовці: ручній машинній	 100...500 80...300	 200...600 150...400
Кування:	300...500	400...600
Штампування: звичайної точності підвищеної точності	100...250 80...200	200...400 150...300
Прокат: Гарячекатаний звичайної точності підвищеної точності холоднотягнутий	 80...150 50...100 40…80	 100...150 80...150 50...100
Вирубування пресами ножицями	 100...300 100...300	 100...150 100...150
Різання механічними пилами	80...160	100...150

Таблиця Д.5.2

Шорсткість *Rz* і глибини дефектного шару *H* поверхонь, отриманих різними методами механічної обробки

Метод обробки	*Rz*, мкм	*H*, мкм
1	2	3
Точіння: чорнове напівчистове чистове тонке	 80...100 30...50 15...25 6...10	 50...100 40...60 20...30 10...20
Стругання: попереднє остаточне	 80...150 15...25	 100...150 20...30
Фрезерування: обдирне чистове тонке	 80...150 20...50 3,2...6,3	 80...100 40...60 10...30
Свердління: чорнове глибоке	 80...150 15...30	 50…100 25...50
Зенкерування: чорнове чистове	 30...50 20...30	 40...50 35...40
Розвертування: попереднє чистове	 10...20 6...10	 15...25 5...10
Розточування: алмазне	 3,2...6,3	 4...10

Продовження табл. Д.5.2

1	2	3
Протягування: чистове тонке	 20...50 3,2...6,3	 40...60 10...30
Шліфування: чорнове чистове тонке	 20...40 5...10 1,3...3,5	 30...50 15...25 5...10
Хонінгування	1...3	3...6
Суперфінішування	0,2...0,8	3...5
Притирка: Попередня Остаточна	 0,8...3,2 0,05...0,2	 3...5 3...5
Полірування	0,05...0,4	2...3

Таблиця Д.5.3

Рекомендовані значення глибини шарів насичення і покриття сталевих поверхонь та їх діапазон, мм

Вид обробки	Глибина шару, мм		Діапазон глибини, мм
	Мінім.	Максим.	
Цементація твердим карбюризатором	0,20	2,50	0,400
Цементація рідким карбюризатором	0,10	0,50	0,100
Цементація газова	0,20	2,00	0,150
Ціанування	0,20	1,50	0,100
Азотування	0,10	0,50	0,050
Хромування молочне	0,01	0,07	0,020
Хромування пористе	0,04	0,20	0,050
Нікелювання	0,03	0,15	0,020
Алітування	0,10	0,60	0,030
Цинкування	0,02	0,07	0,050
Кадміювання	0,02	0,05	0,005
Міднення	0,03	0,06	0,010
Луження	0,02	0,06	0,015

Додаток 6

Середня статистична точність механічної обробки

Таблиця Д.6.1

Середня статистична точність токарних операцій при суміщених технологічних та вимірювальних базах та відхиленні форми вимірювальних баз у межах 10% похибки поздовжніх розмірів

Обладнання та методи обробки	Способи забезпечення точності	Переходи	Шорсткість, мкм		Точність розмірів				
					Діам. (квал.)	Поздовжніх, мм			
			Rz	*Ra*		До 80	80…260	260…500	≥500
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Токарно-гвинторізні верстати	За попередньо налагодженим лімбом з використанням поворотного різцетримача	1	80	20	12-13	0,3	0,4	0,50	0,70
		2	10	2,5	10	0,12	0,2	0,25	0,30
Прецизійні токарні верстати	За попередньо налагодженим лімбом з використанням поворотного різцетримача	1	40	10	8-9	0,08	0,1	0,12	0,15
		2	5	1,25	6-7	0,04	0,06	0,08	0,10
Верстати з ЧПК	За програмою	1	80	20	11	0,20	0,25	0,30	0,40
		2	10	2,5	10	0,12	0,17	0,20	0,25
Малі карусельні верстати	За попередньо налагодженим лімбом або за упорами	1	80	20	12-13	0,25	0,30	0,35	0,45
		2	10	2,5	8-9	0,07	0,10	0,12	0,18
Операц. верстати	За упорами	1	80	20	11	0,15	0,20	0,25	0,30
		2	10	2,5	8-9	0,06	0,08	0,10	0,12

Продовження табл. Д.6.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Токарно-револьверні верстати	За упорами від технологічних баз	1	80	20	12-13	0,25	0,30	0,35	0,40
		2	10	2,5	10	0,15	0,17	0,30	0,25
	Між поверхнями, які оброблені на різних позиціях	1	80	20	12-13	0,30	0,35	0,40	0,45
		2	10	2,5	11	0,20	0,25	0,30	0,35
	Між поверхнями, які оброблені різцями в багаторізцевій державці	1	80	20	12-13	0,12	0,17	0,20	0,25
		2	10	2,5	10	0,08	0,10	0,12	0,15
Багаторізцеві токарні напівавтомати	За упорами від технологічних баз	1	80	20	12-13	0,25	0,30	0,35	0,40
		2	10	2,5	11	0,12	0,17	0,20	0,25
Багаторізцеві токарні напівавтомати	Між поверхнями, які оброблені в багаторізцевій державці	1	80	20	12-13	0,15	0,20	0,25	0,30
		2	10	2,5	10	0,08	0,10	0,12	0,15
	Між поверхнями, які оброблені різцями з різних супортів	1	80	20	12-13	0,20	0,25	0,30	0,35
		2	10	2,5	11	0,12	0,17	0,20	0,25
Копіювальні токарні напівавтомати	За копіром від технологічних баз	1	80	20	12-13	0,25	0,30	0,35	0,40
		2	10	2,5	10	0,15	0,17	0,25	0,25
	Між поверхнями, які оброблені різцями в багаторізцевій державці	1	80	20	11	0,17	0,20	0,25	0,30
		2	10	2,5	8-9	0,12	0,17	0,20	0,25
	Між поверхнями, які оброблені різцями з різних супортів	1	80	20	12-13	0,20	0,25	0,30	0,35
		2	10	2,5	10	0,17	0,20	0,25	0,30

Продовження таблиці Д.6.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	За копіром від технологічних баз	1 2	80 10	20 2,5	12-13 10	0,20 0,12	0,25 0,15	0,30 0,20	- -
Вертикальні багатошпиндельні токарні напівавтомати	Між поверхнями, які оброблені різцями в багаторізцевій державці	1 2	80 10	20 2,5	11 8-9	0,17 0,08	0,20 0,10	0,25 0,12	- -
	Між поверхнями, які оброблені на різних позиціях	1 2	80 10	20 2,5	12-13 10	0,20 0,15	0,25 0,20	0,30 0,25	- -
Автомати фасонно-поздовжнього точіння	За копіром	1 2	40 10	20 2,5	10 7-8	0,12 0,08	0,17 0,10	- -	- -
Токарно-револьверні	Між поверхнями, які оброблені на різних позиціях	1 2	40 10	10 2,5	11 8-9	0,12 0,08	0,17 0,10	- -	- -
	Від упору з попереднього супорта	1	40	10	11	0,20	0,30	-	-
	Між поверхнями, які оброблені різцями в багаторізцевій державці	1	20	5	10	0,06	0,08	-	-
	Між поверхнями, які оброблені фасонним різцем	1	20	5	10	0,02	0,04	-	-
Горизонтальні багатошпинд. токарні автомати і напівавтомати	За копіром від технологічної бази з поздовжнього супорта	1 2	40 10	10 2,5	11 8-9	0,12 0,08	0,17 0,10	- -	- -
	Між поверхнями, які оброблені різцями з різних супортів	1 2	40 10	10 2,5	11 8-9	0,15 0,10	0,20 0,12	- -	- -
	Від упору з поперечного супорта	1	40	10	11	0,20	0,30	-	-

Продовження табл. Д.6.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горизонтальні багатошпинд. автомати і напівавтомати	Між поверхнями, які оброблені різцями в багаторізцевій державці	1	40	10	11	0,10	0,12	-	-
		2	10	2,5	8-9	0,06	0,08	-	-
	Між поверхнями, які оброблені фасонним різцем	1	20	5	10	0,02	0,04	-	-

Таблиця Д.6.2

Середня статистична точність операцій свердління при суміщених технологічних і вимірювальних базах і відхиленні форми вимірювальних баз в межах 10% похибок поздовжніх розмірів

Обладнання та методи обробки	Способи забезпечення точності	Переходи	Шорсткість, мкм		Точність розмірів				
			Rz	*Ra*	Діам. (квал.)	Поздовжніх, мм			
						До 80	80...260	260…500	≥500
Обробка глухих отворів на вертикально-свердлильних і агрегатних верстатах спіральними свердлами	За лімбом	-	80	20	12-13	0,15	0,20	0,30	-
	За упорами	-	80	20	12-13	0,10	0,15	0,20	-
Обробка глухих отворів на вертикально-свердлильних і агрегатних верстатах гарматними свердлами	За лімбом	-	40	10	8-10	0,15	0,20	0,30	-
	За упорами	-	40	10	8-10	0,10	0,15	0,20	-
Те ж, зенкерування чорнових отворів	-	-	80	20	12-13	-	-	-	-
Те ж, зенкерування після свердління	-	-	40	20	10-11	-	-	-	-
Те ж, розвертування	-	-	10	2,5	6-7	-	-	-	-

Продовження табл. Д.6.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Обробка глухих отворів на вертикально-свердлильних і агрегатних верстатах зенкеруванням	За упорами	-	40	10	12-13	0,15	0,20	0,30	-
Те ж, цекування свердлами	За упорами	-	40	10	12-13	0,15	0,20	0,30	-
Те ж, обробка ступінчастих отворів комбінованим інструментом	-	-	80	20	11-12	0,15	0,20	0,30	-

Таблиця Д.6.3

Середня статистична точність операцій розточування при суміщених технологічних і вимірювальних базах і відхиленні форми вимірювальних баз в межах 10% похибок поздовжніх розмірів

Обладнання та методи обробки	Способи забезпечення точності	пе ре хо ди	Шорсткість, мкм		Точність розмірів				
					Діам. (квал.)	Поздовжніх, мм			
			Rz	*Ra*		До 80	80… 260	260… 500	≥500
Розточування ступінчастих отворів на горизонтально-розточувальних верстатах	За лімбом	1	80	20	11	0,15	0,20	0,25	-
		2	10	2,5	8-9	0,10	0,15	0,20	-
	За програмою (верстат з ЧПУ)	1	80	20	11	0,10	0,20	0,15	-
		2	10	2,5	8-9	0,05	0 08	0 10	-
Розточування ступінчастих отворів на горизонтально-розточувальних верстатах	Між поверхнями, які оброблені різцями в одній борштанзі	1	20	5	8-9	0,05	0,06	0,08	-
		2	5	1,25	6-7	0,02	0,04	0,06	-
	Між поверхнями, які обробляються на різних позиціях	1	20	5	8-9	0,10	0,12	0,15	-
		2	5	1,25	6-7	0,07	0,10	0,12	-

Таблиця Д.6.4

Середня статистична точність операцій фрезерування при суміщених технологічних і вимірювальних базах і відхиленні форми вимірювальних баз в межах 10 % похибок поздовжніх розмірів

Обладнання та методи обробки	Способи забезпечення точності	Переходи	Шорсткість, мкм		Точність розмірів				
					Діам. (квал.)	Поздовжніх, мм			
			Rz	*Ra*		До 80	80…260	260...500	≥500
Циліндричними фрезами на горизонтальних і універсальних верстатах	За установами і упорами	1	80	20	12-13	0,20	0,25	0,30	0,40
		2	10	2,5	11	0,12	0,17	0,20	0,25
		3	5	1,25	8-9	0,06	0,08	0,12	0,15
Торцевими фрезами на вертикальних і універсальних верстатах	За установами і упорами	1	80	20	12-13	0,20	0,25	0,30	0,40
		2	10	2,5	10	0,12	0,17	0,20	0,25
		3	5	1,25	7-8	0,04	0,06	0,10	0,12
Двобічні верстати	Від бази за установами	1	80	20	12-13	0,20	0,25	0,30	0,40
		2	10	2,5	11	0,12	0,17	0,20	0,25
	Між фрезами	1	80	20	12-13	0,10	0,15	0,17	0,20
		2	10	2,5	10	0,08	0,10	0,12	0,15

Таблиця Д.6.5

Середня статистична точність операцій стругання і протягування при суміщених технологічних і вимірювальних базах і відхиленні форми вимірювальних баз в межах 10% похибок поздовжніх розмірів

Обладнання та методи обробки	Способи забезпечення точності	Переходи	Шорсткість, мкм		Точність розмірів				
					Діам. (квал.)	Поздовжніх, мм			
			Rz	*Ra*		До 80	80...260	260…500	≥500
Довбальні верстати	За лімбом	1	80	20	-	0,40	0,45	0,50	0,60
		2	20	5		0,20	0,25	0,30	0,40
Поперечно-стругальні верстати	За лімбом і установами	1	80	20	-	0,40	0,45	0,50	0,60
		2	20	2,5		0,12	0,17	0,20	0,25
Поздовжньо-стругальні верстати	За лімбом і установами	1	80	20	-	0,20	0,25	0,30	0,40
		2	10	2,5		0,12	0,17	0,20	0,25
Протягування внутрішнє	-	1	10	2,5	6-7	-	-	-	-
Протягування зовнішнє	-	1	10	2,5	-	0,12	0,17	0,20	0,25

Таблиця Д.6.6

Середня статистична точність шліфувальних операцій при суміщених технологічних і вимірювальних базах і відхиленні форми вимірювальних баз в межах 10% похибок поздовжніх розмірів

Обладнання та методи обробки	Способи забезпечення точності	Вид шліф.	Шорсткість, мм		Точність розмірів				
					Діам. (квал.)	Поздовжніх, мм			
			Rz	*Ra*		До 80	80…260	260...500	≥500
Кругло-шліфувальні верстати	За лімбом, упорами і пробними робочими ходами	Попереднє	10	2,5	10	-	-	-	-
		Чистове	0,63	0,16	6-7	-	-	-	-
		Тонке	0,16	0,04	5-6	-	-	-	-
Торце-кругло-шліфувальні верстати	За упорами	Попереднє	10	2,5	10	0,15	0,17	0,20	0,25
		Чистове	2,5	0,63	6-7	0,08	0,10	0,12	0,15
	З позиціонером	Попереднє	10	2,5	10	0,10	0,12	0,15	0,17
		Чистове	2,5	0,63	6-7	0,06	0,08	0,10	0,12
Внутрішньо-шліфувальні верстати	За лімбом, упорами і пробними робочими ходами	Попереднє	10	2,5	10	0,20	0,25	0,30	-
		Чистове	2,5	0,63	6-7	0,12	0,17	0,20	-
		Тонке	0,63	0,16	5-6	0,06	0,08	0,12	-
Плоско-шліфувальні верстати	За лімбом, упорами і пробними робочими ходами	Попереднє	10	2,5	-	0,15	0,20	0,25	-
		Чистове	2,5	0,63	-	0,08	0,10	0,12	-
		Тонке	0,63	0,16	-	0,05	0,08	0,10	-
Безцентрово-шліфувальні верстати	За упорами	Попереднє	10	2,5	8-9	-	-	-	-
		Чистове	5	1,25	6-7	0,12	0,17	0,20	-

Таблиця Д.6.7

Середня статистична точність фінішних операцій

Обладнання та методи обробки	Способи забезпечення точності	Вид шліф.	Шорсткість, мм		Точність розмірів				
					Діам. (квал.)	Поздовжніх, мм			
			Rz	*Ra*		До 80	80…260	260...500	≥500
Хонінгування	-	Попередній	1,25	0,32	-	Точність обробки приблизно відповідає точності попередньо виконаного розміру			
		Чистовий	1,25	0,32	5-6				
Суперфінішування	-	Попередній Чистовий	1,25 0,32	0,32 0,08	1,1 від початкової похибки	-	-	-	-
Притирка нерозмірна	-	Попередній	1,25	0,32	-	Зберігається			-
		Чистовий	0,32	0,08	-				-
Притирка розмірна	-	-	0,32	0,08	Точн. 3	0,001			-

Додаток 7

Середня статистична точність форми і розташування поверхонь при механічній обробці

Таблиця Д.7.1

Середня статистична точність форми і розташування поверхонь, які оброблені на токарних операціях, відносно „чистових” технологічних баз, мкм

Обладнання і методи обробки	Переходи	Відхилення від	Номінальні розміри, мм					
			До 10	10…50	50…60	160…300	300…600	≥500
Револьверні, багатошпиндельні й інші токарні верстати	1	Площин.	6-16	10-30	25-50	40-80	60-120	100-250
		Перпенд.	25-60	40-120	100-200	150-300	300-450	400-1000
		Циліндр.	10-24	20-40	30-60	50-100	80-150	150-300
		Співвісн.	40-60	50-100	80-120	100-200	150-250	200-400
Револьверні, багатошпиндельні й інші токарні верстати	2	Площин.	2,5-6	4-16	10-25	16-35	25-50	40-100
		Перпенд.	6-16	10-40	16-50	25-60	40-100	80-300
		Циліндр.	2-10	6-16	6-20	10-25	12-30	16-50
		Співвісн.	20-30	30-60	40-80	60-100	80-160	100-500
	3	Площин.	0,6-1	1-2,5	1,6-6,0	4-10	8-16	10-40
		Перпенд.	1,6-4	4-10	6-16	8-20	10-30	16-100
		Циліндр.	1,2-3	2,5-4	3-8	5-10	7-12	10-25
		Співвісн.	5-16	8-20	10-25	12-30	16-40	20-80

Таблиця Д.7.2

Середня статистична точність форми і розташування поверхонь, які оброблені на операціях свердління, відносно „чистових” технологічних баз, мкм

Обладнання і методи обробки	Пе-ре-ходи	Відхи-лення від	Номінальні розміри, мм					
			До 10	10… 50	50… 60	160… 300	300 …	≥500
Свердління спіральними свердлами	1	Співвісн.	25-60	40-120	80-250	160-400	-	-
		Циліндр.	12-25	16-40	20-50	-	-	-
Свердлення гарматними свердлами	1	Співвісн.	2,5-6,0	4-16	10-25	20-50	-	-
		Циліндр.	2-5	4-10	8-16	12-20	-	-

Таблиця Д.7.3

Середня статистична точність форми і розташування поверхонь, які оброблені на операціях зенкерування і розвертування, відносно „чистих” технологічних баз, мкм

Обладнання і методи обробки	Пере-ходи	Відхилення від	Номінальні розміри, мм					
			До 10	10… 50	50… 60	160… 300	300… 600	≥500
Зенкування	1	Співвісн.	4-10	8-16	10-25	16-40	-	-
		Циліндр.	2-6	6-12	8-20	-	-	-
Розверту-вання	1	Співвісн.	Початкова похибка + (4-6)					
		Циліндр.	1,5-2,0	2,5-6,0	5-10	8-16	-	-

Таблиця Д.7.4

Середня статистична точність форми і розташування поверхонь, які оброблені на операціях розточування, відносно „чистових” технологічних баз, мкм

Обладнання і методи обробки	Пере ходи	Відхи-лення від	Номінальні розміри, мм					
			До 10	10… 50	50… 60	160… 300	300… 600	≥500
Алмазне розточуван-ня	1	Площин.	0,4-0,1	0,8-2,0	1,2-4,0	2,5-8,0	6-10	-
		Перпенд.	0,6-1,6	1,2-4,0	2,5-6,0	4-8	6-10	8-16
		Циліндр.	0,5-1,2	1,0-2,8	2-5	4-10	8-16	10-20
		Співвісн.	2,5-6,0	3-8	5-10	6-12	8-16	10-20

Таблиця Д.7.5

Середня статистична точність форми і розташування поверхонь, які оброблені на фрезерних операціях, відносно „чистових” технологічних баз, мкм

Обладнання і методи обробки	Пе-рехо-ди	Відхи-лення від	Номінальні розміри, мм					
			До 10	10… 50	50… 60	160… 300	300… 600	≥500
Вертикальні, горизонтальні і поздовжньо - фрезерні	1	Площин	6-16	10-20	16-40	28-80	50-120	100-600
		Перпенд	25-60	40-120	108-250	200-360	250-450	400-1200
	2	Площин	1-4	2,5-10	6-16	10-20	16-30	20-100
		Перпенд	4-10	6-30	20-60	40-60	60-120	100-400

Таблиця Д.7.6

Середня статистична точність форми і розташування поверхонь, які оброблені на операціях протягування, відносно „чистових” технологічних баз, мкм

Обладнання і методи обробки	Пе-ре-ходи	Відхилення від	Номінальні розміри, мм					
			До 10	10... 50	50... 60	160... 300	300… 600	≥500
Протягування і прошивання	1	Прямолін.	1,6-4,0	2,5-8,0	6-16	8-20	-	-
		Перпенд.	Осі отвору відносно бази 0,15:100					
		Циліндр.	2-5	4-6	5-12	8-16		
		Співвісн.	Початкове зміщення + (2-6)					

Таблиця Д.7.7

Середня статистична точність форми і розташування поверхонь, які оброблені на операціях протягування, відносно „чистових” технологічних баз, мкм

Обладнання і методи обробки	Пе-ре-ходи	Відхи-лення від	Номінальні розміри, мм					
			До 10	10... 50	50... 60	160... 300	300… 600	≥500
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Круглошліфувальні, внутрішньошліфувальні, плоскошліфувальні верстати	1	Площин.	2,5-6,0	4-10	6-16	10-25	20-40	20-100
		Перпенд.	4-10	8-20	16-30	20-50	30-60	50-160
		Циліндр.	1,6-4,0	2,5-8,0	5-12	8-16	10-20	16-40
		Співвісн.	20-30	25-50	40-60	50-80	60-100	80-200
		Співвісн.	Початкове зміщення + (2-4)					

Продовження таблиці Д.7.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Круглошліфувальні, внутрішньошліфувальні, плоскошліфувальні верстати	2	Площин.	1-4	2,5-8,0	6-12	10-20	16-25	20-60
		Перпенд.	1,6-4,0	2,5-60	4-10	8-16	10-25	20-100
		Циліндр.	0,8-2,5	1,6-4,0	2,5-5	4-6	5-6	6-16
		Співвісн.	8-12	6-16	12-20	16-30	20-40	30-120
Безцентрово-шліфувальні верстати	1	Циліндр.	2,5-6,0	4-10	6-12	10-20	16-40	30-50

Таблиця Д.7.8

Середня статистична точність форми і розташування поверхонь, які оброблені на фінішних операціях, мкм

Обладнання і методи обробки	Переходи	Відхилення від	Номінальні розміри, мм					
			До 10	10...50	50...60	160...300	300…600	≥500
Хонінгування	1	Прямолінійн.	0,6-1,6	1,2-4,0	2,6-6,0	4-8	6-10	8-30
		Круглості	0,5-1,2	1,0-2,5	1,6-3,0	2,5-5,0	3-6	-
		Співвісність	зберігається					
Суперфінішування	-	Всі види похибок зберігаються						
Притирка (доведення)		Площинності, прямолінійності	0,2-0,6	0,4-1,2	1,0-2,5	1,6-4,0	2,5-6	4-16
		Циліндр.	0,3-0,8	0,5-1,6	0,8-2,0	1,6-2,5	2-3	-
		Співвісн.	Зберігається					

Додаток 8

Середня статистична точність координат і розміщення осей отворів

Таблиця 8.1

Середня статистична точність координат і розміщення осей отворів у виливках, мм

Вид лиття	Відстань від торця або між отворами, мм				Питома перпендикулярність або паралельність від бази, мкм/мм			
					Діаметр отвору			
	До 50	50…120	120…260	260...500	До 10	10...30	30…50	≥50
Піщаноглинисті форми	1,00	1,50	2,00	2,50	-	20…10	15…5,0	10…3
Металеві форми	0,30	0,50	0,75	1,00	-	-	-	-
Під тиском, в оболонкові форми, за виплавленими моделями	0,15	0,20	0,25	0,35	4…2	3…1,5	2…1	1,5…0,7

Таблиця 8.2

Середня статистична точність координат і розміщення осей отворів у поковках і штампованих заготовках, мм

Вид лиття	Відстань від торця або між отворами, мм				Питома перпендикулярність або паралельність від бази, мкм/мм			
					Діаметр отвору			
	До 50	50.7і..120	120...260	260...500	До 10	10...30	30...50	≥50
Кування	1,50	2,00	2,50	3,00	-	-	-	-
Штамповка звичайної точності	0,50	0,70	1,00	1,50	-	-	-	-
Штамповка підвищеної точності	0,30	0,50	0,75	1,00	-	-	-	-

Таблиця 8.3

Середня статистична точність координат і розміщення осей отворів, що отримані на операціях свердління, мм

Метод обробки і координації інструмента на свердлильних і радіально-свердлильних верстатах	Відстань від торця або між отворами, мм				Питома перпендикулярність або паралельність від бази, Діаметр отвору			
	До 50	50…120	120…260	260…500	До 10	10...30	30...50	≥50
За розміткою	0,50	0,70	0,80	1,00	4…2	3…1,5	2…1	1,5…0
За кондуктором зі змінними втулками нормальної точності	0,10	0,15	0,20	0,25	2…1,5	1,8…1,6	1,5…0,7	1...0
За кондуктором з втулками, які обертаються підвищеної точності	0,035	0,04	0,05	0,06	1…0,7	0,8…0,5	0,6…0,4	0,5…0
Гарматними свердлами	0,035	0,04	0,05	0,06	0,8…0,5	0,6…0,3	0,4…0,2	0,3…0

Примітка: Приведені в таблиці величини похибок розташування дійсні для інтервалу діаметрів отворів 18...30 мм. При обробці інших розмірів табличні величини необхідно помножити на коефіцієнт К:

Діаметр, мм	10...18	18...30	30...50	≥50
К	0,8	1,0	1,2	1,6

Ужгород

Додаток 9

Допуски розмірів на заготовки

Таблиця 9.1

Допуски розмірів чавунних і стальних виливків, виготовлених за першим класом точності (литво в піщаноглинисті форми)

Найбільший габаритний розмір	Номінальний розмір, мм										
	До 50	50 120	120 260	260 500	500 800	800 1250	1250 2000	2000 3150	3150 5000	5000 6300	6300 10000
До 120	0,4	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
121...260	0,6	0,8	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-
261...500	0,8	1,2	1,6	2,0	-	-	-	-	-	-	-
501...1250	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	-	-	-	-	-
1251...3150	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	4.0	5.0	6.0	-	-	-
3151...5000	2,0	2,4	3,0	3,6	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	-	-

Примітка: Для елементів виливка типу „отвір” і „вал” відхилення на розмірах проставляються в „тіло”, для всіх інших – симетрично.

Таблиця 9.2

Допуски розмірів чавунних і сталевих виливків, виготовлених за другим класом точності (литво в піщаноглинисті форми)

Найбільший габаритний розмір	Номінальний розмір, мм										
	До 50	50 120	120 260	260 500	500 800	800 125	1250 2000	2000 3150	3150 5000	5000 6300	6300 10000
До 260	1,0	1,6	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-
261...500	1,6	2,0	2,4	3,0	-	-	-	-	-	-	-
501...1250	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	-	-	-	-	-
1251...3150	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	-	-	-
3151...6300	3,0	3,6	4,4	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	18,0	24,0	-

Примітка: Для елементів виливка типу „отвір” і „вал” відхилення на розмірах проставляються в „тіло”, для всіх інших – симетрично.

Таблиця 9.3

Допуски розмірів чавунних і стальних виливків, виготовлених за третім класом точності (литво в піщаноглинисті форми)

Найбільший габаритний розмір	Номінальний розмір, мм										
	До 50	50 120	120 260	260 500	500 800	800 1250	1250 2000	2000 3150	3150 5000	5000 6300	6300 1000
До 500	2,0	3,0	4,0	5,0	-	-	-	-	-	-	-
501...1250	2,4	3,6	4,4	6,0	8,0	10,0	-	-	-	-	-
1251...3150	3,0	4,0	5,0	7,0	10,0	12,0	14,0	18,0	-	-	-
3151...6300	3,6	4,4	6,0	8,0	11,0	13,0	16,0	20,0	24,0	30,0	-
6301...10000	4,0	5,0	7,0	9,0	12,0	15,0	18,0	22,0	28,0	34,0	40,0

Примітка: Для елементів виливка типу „отвір” і „вал” відхилення на розмірах проставляються в „тіло”, для всіх інших – симетрично.

Таблиця 9.4

Допуски розмірів відливків з кольорових металів та сплавів, мм

Номінальні розміри виливків	Спосіб лиття									
	У піщані форми		В оболонкові форми		За виплавлюваними моделями		Відцентрове		Під тиском	
	Клас точності виливків									
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
до 10	0,4 0,6	0,8 1,6	0,2 0,3	0,4 0,6	0,12 0,24	0,2 0,3	0,2 0,3	0,4 0,6	0,1 0,2	0,12 0,24
≥10 ≤18	0,4 0,6	0,8 1,6	0,24 0,4	0,4 0,8	0,16 0,24	0,24 0,4	0,2 0,4	0,4 0,8	0,1 0,2	0,16 0,24
≥18 ≤30	0,5 0,8	0,8 1,6	0,3 0,5	0,5 0,8	0,2 0,3	0,3 0,5	0,3 0,5	0,5 0,8	0,1 0,2	0,2 0,3
≥30 ≤50	0,6 1,0	1,0 1,6	0,4 0,6	0,6 1,0	0,24 0,4	0,4 0,6	0,4 0,6	0,6 1,0	0,1 0,3	0,24 0,4
≥50 до 80	0,8 1,2	1,2 2,0	0,5 0,8	0,8 1,2	0,5 0,8	0,8 1,2	0,5 0,8	0,8 1,2	0,3 0,5	0,5 0,8
≥80	1,0	1.6	0,6	1,0	0,6	1,0	1,0	1,6	0,4	0,6
до 120	1,6	2,5	1,0	1,6	1,0	1,6	1,6	2,5	0,6	1,0
≥120	1,2	2,0	1,2	2,0	0,8	1,2	1,2	2,0	0,5	0,8
до 180	2,0	3,0	2,0	3,0	1,2	2,0	2,0	3,0	0,8	1,2

Продовження табл. 9.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
≥180 до 260	1,6 2,4	2,4 4,0	1,6 2,4	2,4 4,0	1,0 1,6	1,6 2,4	1,6 2,4	2,4 4,0	0,6 1,0	1,0 1,6
≥260 до 360	1,8 3,0	3,0 4,5	1,8 3,0	3,0 4,5	1,2 1,8	1,8 3,0	1,8 3,0	3,0 4,5	0,8 1,2	1,2 1,8
≥360 до 500	2,2 3,6	3,6 5,5	2,2 3,6	3,6 5,5	1,4 2,2	2,2 3,6	2,2 3,6	3,6 5,5	- -	1,4 2,2
≥500 до 630	4,0 6,4	6,4 10,0	2,4 4,0	4,0 6,4	1,6 2,4	2,4 4,0	2,4 4,0	4,0 6,4	- -	1,6 2,4
»630 до 800	5,0 8,0	8,0 12,0	3,0 5,0	5,0 8,0	- -	3,0 5,0	3,0 5,0	5,0 8,0	- -	- -
≥800 до 1000	5,6 9,0	9,0 14,0	3,6 5,6	5,6 9,0	- -	3,6 5,6	3,6 5,6	5,6 9,0	- -	- -
Понад 1000 до 1250	6,4 10,0	10,0 16,0	4,0 6,4	6,4 10,0	- -	4,0 6,4	4,0 6,4	6,4 10,0	- -	- -
Понад 1250 до 1600	8,0 12,0	12,0 20,0	5,0 8,0	8,0 12,0	- -	5,0 8,0	5,0 8,0	8,0 12,0	- -	- -
Понад 1600 до 2000	9,0 14,0	14,0 22,0	- -	9,0 14,0	- -	- -	- -	9,0 14,0	- -	- -

Примітка: В чисельнику наведені допуски на розміри виливків, які формуються, в одній частині форми, в знаменнику – на розміри виливків, які формуються в двох та більше частинах форми або стержня.

Таблиця 9.5

Сталь гарячекатана кругла (ГОСТ 2590-71)

Діаметри, мм	Граничні відхилення (мм) по діаметру при точності прокатування		
	Високої	Підвищеної	Звичайної
5; 5,5; 6; 6,3; 6,5; 7-9	+0,1 -0,2	+0,2 -0,5	+0,3 -0,5
10-19	+0,1 -0,3	+0,2 -0,5	+0,3 -0,5
20-25	+0,2 -0,3	+0,2 -0,5	+0,4 -0,5
26-48	+0,2 -0,5	+0,2 -0,7	+0,4 -0,7
0; 52-58	+0,2 -0,8	+0,2-1,0	+0,4 -0,7
0; 62-63; 65; 67-68; 70; 72	+0,3 -0,9	+0,3-1,1	+0,5 -1,1
75; 78; 80; 82;85;90;95	+0,3 -1,1	+0,3-1,3	+0,5 -1,3
100; 105; 110; 115	- -	+0,4-1,7	+0,6 -1,7
120; 125; 130; 135; 140; 150	- -	+0,6 -0,2	+0,8 -2,0
160; 170; 180; 190; 200	- -	- -	0,9 -2,5
210; 220; 230; 240; 250	- -	- -	+ 1,2 -3,0

Примітка: 1. Сталь діаметром до 9 мм постачається в мотках, більше 9 мм – в прутках. 2. Кривизна прутка не повинна перевищувати 0,5 % довжини, на вимогу споживача повинні постачатися прутки з кривизною, яка не перевищує 0,2% довжини. 3. Допустима кривизна зрізу прутка не повинна перевищувати 0,1 діаметра – для прутків діаметром до 30 мм; 5 мм – для прутків діаметром 30 мм.

Таблиця 9.6

Сталь гарячекатана кругла (ГОСТ 2591-71)

Розміри квадрата, мм	Граничні відхилення (мм) за діаметром при точності прокатування		
	Високої	Підвищеної	Звичайної
5-9	+0,1 -0,2	+0,2 -0,5	+0,3 -0,5
10-19	+0,1 -0,3	+0,2 -0,5	+0,3 -0,5
20-25	+0,2 -0,3	+0,2 -0,5	+0,4 -0,5
26-48 (нема 43, 44, 47)	+0,2 -0,5	+0,2 -0,7	+0,4 -0,7
50; 52; 55; 58	+0,2 -0,8	+0,2-1,0	+0,4-1,0
80; 85; 90; 93; 95	+0,3-1,1	+0,3 -1,3	+0,5-1,3
100; 105; 110; 115		+0,4-1,7	+0,6-1,7
120; 125; 130; 135		+0,6 -2,0	+0,8 -2,0
140; 145;150		+0,6 -2,0	+0,8 -2,0
160; 170; 180; 190;			+0,9 -2,5
200			+0,9 -2,5

Примітка: 1. Кривизна прутка не повинна перевищувати 0,5% довжини. На вимогу споживача повинні постачатись прутки, кривизна, яких не перевищує 0,2% довжини. Скручування прутка навколо повздовжньої осі не допускається. 2. Допустимий перекіс зрізу не повинен перевищувати: 0,1 сторони квадрата – при стороні квадрату до 30 мм; 5 мм – при стороні квадрата більше 30 мм.

Таблиця 9.7

Сталь гарячекатана кругла (ГОСТ 2879-69)

Розміри квадрата, мм	Граничні відхилення (мм) по діаметру при точності прокатування		
	Високої	Підвищеної	Звичайної
1	2	3	4
8; 9	- -	+0,1 -0,3	+0,3 -0,5
10-19 (кожен 1 мм)	- -	+0,2 -0,3	+0,3 -0,5
20; 21; 22; 24; 25	- -	+0,2 -0,4	+0,4 -0,5
26; 28; 30; 32; 34; 36	- -	+0,2 -0,6	+0,4 -0,7
38; 40; 45; 48	- -	+0,2 -0,6	+0,4 -0,7
50; 52; 55	- -	+0,2 -0,9	+0,4 -1,0
60; 63; 65; 70; 75	- -	+0,3-1,0	+0,5-1,1

Продовження табл. 9.7

80; 85; 90; 95	- -	+0,4-1,2	+0,5 -1,3
100	- -	+0,5 -1,5	+0,6-1,7

Примітка: 1. Місцева кривизна прутка з шестигранної сталі не повинна перебільшувати 5 мм на 1 м довжини; загальна кривизна не повинна перевищувати добутки граничної місцевої кривизни 1 м довжини на довжину прутка в метрах. За погодженням сторін можуть постачатися прутки, кривизна яких не перевищує 2 мм на 1 м довжини. 2. Скручування прутка навколо повздовжньої осі не допускається.

Таблиця 9.8

Полоса сталева гарячекатана (ГОСТ 103-76)

Ширина полоси, мм	Граничні відхилення (мм) при точності	
	Підвищеної	Звичайної
Від 11 до 60	+0,3 -0,9	+0,5 -1,0
63; 65	+0,3 -1,1	+0,5-1,3
70; 75	+0,3 -1,3	+0,5 -1,4
80; 85	+0,5-1,4	+0,7 -1,6
90; 95	+0,6-1,8	+0,9 -1,8
100; 105	+0,7 -2,0	+ 1,0 -2,0
100	+0,8 -2,2	+1,0 -2,2
120; 125	+0,9 -2,4	+1,1 -2,4
від 130 до 150	+1,0 -2,5	+ 1,2 -2,8
більше 150 до 180	+1,2 -2,8	+1,4 -3,2
більше 180 до 200	+1,4 -3,2	+1,7 -4,0
Товщина полоси, мм	Граничні відхилення (мм) при точності	
	Підвищеної	Звичайної
Від 4 до 6	+0,2 -0,3	+0,2 -0,5
6...16	+0,2 -0,4	+0,2 -0,5
16...25	+0,2 -0,6	+0,2 -0,8
25...32	+0,2 -0,7	+0,2-1,2
36; 40	+0,2 -1,0	+0,2 -1,6
45; 50	+0,2 -1,5	+0,3 -2,0
60...60	+0,2 -1,8	+0,3 -2,4

Примітка: 1. Притуплення кутів полос не повинно перевищувати 0,2 товщини, але не більше 3 мм. 2. У залежності від серпоподібності полоси виготовляють двох класів: клас 1 – серпоподібність полоси 0,2% довжини, клас 2 – 0,5% довжини.

Таблиця 9.9

Допуски на довжину заготовок, які отримують з прокату

Діаметр або бік квадрата, мм	Допуски при довжині заготовки, мм (відхилення симетричне)			
	До 300	300...600	600...1000	Понад 1000
При розрізанні на прес-ножицях				
До 25	До 0,8	0,8...1,0	1,0...1,5	1,5...2,0
25...40	0,8...1,0	1,0...1,5	1,5...2,0	2,0...2,5
40...70	1,0...1,5	1,5...2,0	2,0...2,5	2,5...3,0
70...100	1,5...2,0	2,0...2,5	2,5...3,0	3,0...3,5
100...150	2,0...2,5	2,5...3,0	3,0...3,5	3,5...4,0
150...200	2,5...3,0	3,0...3,5	3,5...4,0	4,0...4,5
При розрізанні в штампах на пресах				
до 10	0,5...0,6	0,6...0,7	0,7...0,8	0,8...0,9
10...20	0,6...0,7	0,7...0,8	0,8...0,9	0,9...1,0
20...30	0,7...0,8	0,8...0,9	0,9...1,0	1,0...1,2
30...40	0,8...0,9	0,9... 1,0	1,0...1,1	1,2...1,5
При розрізанні на дискових, стрічкових і ножовочних механічних пилах				
до 50	До 0,8	0,8...0,1	1,0... 1,3	1,3...1,5
50...70	0,8...1,0	1,0...1,3	1,4...1,5	1,5...1,8
70...100	1,0...1,3	1,3...1,5	1,5...1,8	1,8...2,0
100...130	1,2...1,4	1,4...1,6	1,6—1,8	1,9...2,1
130...160	1,3...1,5	1,5...1,8	1,8...2,0	2,0...2,5

Таблиця 9.10

Допуски розмірів заготовок, які отримані куванням і штамповкою, мм (вали, важелі, кронштейни)

Вид обробки	Довжина, мм							
	150...180				180...260			
	Діаметр або товщина							
	18…30	30…50	50…80	80…180	30...50	50…80	80…120	120…190
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Точність діаметральних і поперечних розмірів, мм								
Кування	±1,0	±1,5	±2,0	±2,5	±1,5	±2,0	±2,5	±3,5
Штамповка звичайної точності	+1,0 -0,5	+1,2 -0,6	+1,4 -0,7	+1,6 -0,8	+1,4 -0,6	+1,6 -0,8	+1,8 -0,9	+2,0 -1,0
Штамповка підвищеної точності	+0,7 -0,3	+0,8 -0,4	+0,9 -0,5	+1,0 -0,5	+0,9 -0,5	+1,1 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7

Продовження таблиці 9.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Точність поздовжніх розмірів, мм								
Кування	±1,5	±2,0	±3,0	±4,0	±2,0	±3,0	±4,0	±5,0
Штамповка звичайної точності	+1,0 -0,5	+1,2 -0,6	+1,6 -0,8	+2,0 -1,0	+1,4 -0,7	+1,8 -0,9	+2,2 -1,1	+2,8 -1,4
Штамповка підвищеної точності	+0,8 -0,4	+1,0 -0,5	+1,2 -0,6	+1,6 -0,8	+1,2 -0,6	+1,4 -0,7	+1,8 -0,9	+2,0 -1,0
Вид обробки	Довжина, мм							
	260...360 1 360...500							
	Діаметр або товщина							
	30…50	50…80	80…120	120…180	30…50	50…80	80…120	120…180
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Точність діаметральних і поперечних розмірів, мм								
Кування	2,0	2,5	3,0	3,5	2,0	3,0	4,0	5,0
Штамповка звичайної точності	+1,6 -0,8	+1,8 -0,9	+2,2 -1,1	+2,4 -1,2	+2,0 -1,0	+2,2 -1,1	+2,4 -1,2	+2,8 -1,4
Штамповка підвищеної точності	+1,2 -0,6	+1,3 -0,6	+1,4 -0,7	+1,6 -0,8	- -	- -	- -	- -
Точність поздовжніх розмірів, мм								
Кування	3,0	4,0	5,0	6,0	3,0	5,0	6,0	7,5
Штамповка звичайної точності	+1,6 -0,8	+2,0 -1,0	+2,6 -1,2	+3,2 -1,6	+2,0 -1,0	+2,4 -1,2	+2,8 -1,4	+3,6 -1,8
Штамповка підвищеної точності	+1,4 -0,7	+1,6 -0,8	+2,0 -1,0	+2,2 -1,1	- -	- -	- -	- -

Таблиця 9.11

Допуски розмірів заготовок, які отримані куванням і штамповкою, мм (диски, барабани, стакани, фланці)

Вид обробки	Висота виробу, мм							
	18...30				30...50			
	50…80	80…120	120…200	200…300	50…80	80…120	120…200	200…300
Точність діаметральних і поперечних розмірів, мм								
Кування	1,2	2,0	2,5	4,0	-	-	-	-
Штамповка звичайної точності	+0,8 -0,4	+1,7 -0,5	+1,4 -0,7	+0,2 -1,0	+0,9 -0,4	+1,2 -0,6	+1,4 -0,7	+2,0 -1,0
Штамповка підвищеної точності	+0,6 -0,3	+0,8 -0,4	+1,0 -0,5	+1,4 -0,7	+0,6 -0,3	+0,8 -0,4	+1,0 -0,5	+1,4 -0,7
Штамповка на горизонт, кувальних машинах	+0,6 -0,3	+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	- -	+0,6 -0,3	+0,8 -0,4	+1,0 -0,5	- -
Точність поздовжніх розмірів, мм								
Кування	-	-	-	-	2,0	2,0	2,5	2,5
Штамповка звичайної точності	- -	+1,0 -0,5	+1,4 -0,7	+2,0 -1,0	+1,1 -0,6	+1,4 -0,7	+1,8 -0,9	+2,2 -1,1
Штамповка підвищеної точності	- -	+0,8 -0,4	+1,0 -0,5	+1,4 -0,7	+0,8 -0,4	+1,1 -0,5	+1,2 -0,6	+1,5 -0,8
Штамповка на горизонт, кувальних машинах	+0,7 -0,3	+0,8 -0,4	+1,0 -0,5	- -	+0,8 -0,4	+1,0 -0,5	+1,2 -0,6	- -

Вид обробки	Висота виробу, мм								
	50…80			80...120		120…180			
	50…80	80…120	120…200	50…80	80…120	120…200	80…120	120…200	200…300
Точність діаметральних і поперечних розмірів, мм									
Кування	2,0	2,0	2,5	2,0	3,0	3,5	3,0	4,0	5,0
Штам-повка	+0,9 -0,4	+1,2 -0,6	+1,4 -0,7	+1,0 -0,5	+1,4 -0,8	+1,6 -0,8	+1,4 -0,7	+1,8 -0,9	+2,2 -1,1
Штампов-ка підви-щеної точності	+0,7 -0,3	+0,8 -0,4	+1,2 -0,4	+0,8 -0,4	+0,9 -0,5	+1,1 -0,6	+1,0 -0,6	+1,2 -0,6	+1,5 -0,7

Продовження табл. 9.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Штампов ка на го- ризон- тально- кураль- них машинах	+0,7 -0,3	+0,8 -0,4	+1,1 -0,5	- -	+0,8 -0,4	+1,0 -0,5	- -	+1,2 -0,6	+2,2 -
Точність поздовжніх розмірів, мм									
Кування	2,0	2,0	2,5	2,0	3,0	3,5	3,0	4,0	5,0
Штам- повка звичайної точності	+1,2 -0,6	+1,5 -0,7	+2,2 -1,1	+1,4 -0,7	+1,8 -0,9	+2,3 -1,1	+2,0 -1,0	+2,4 -1,2.	- -
Штампо- вка під- вищеної точності	+0,9 -0,5	+1,2 -0,6	+1,8 -0,9	+1,0 -0,6	+1,2 -0,6	+1,8 -0,9	+1,6 -0,8	+1,8 -0,9	- -
Штампов ка на го- ризон- тально- кураль- них машинах	+0,8 -0,4	+1,0 -0,5	+1,5 -0,8	+1,0 -0,5	+1,2 -0,6	+1,4 -0,7	+1,6 -0,8	+1,8 -0,9	-

Додаток 10

Просторові відхилення поверхонь залежно від методу обробки (заготівельні операції)

Таблиця 10.1

Питома вгнутість і короблення, мкм/мм

Методи отримання поверхні	Діаметр або товщина деталі, мм				
	18...30	30...50	50...80	80...120	120...180
Литво: в піщано-глинисті форми	4,00	4,00	3,00	3,00	2,50
в металеві форми	2,00	2,00	1,00	1,00	0,70
Гаряча штамповка: без правки	2,40	2,00	1,60	1,20	0,80
після правки	0,40	0,30	0,20	0,20	0,15

Продовження табл. 10.1

Прокат гарячекатаний: без правки після правки	 12,00 2,00	 10,00 2,0	 10,00 1,50	 8,00 1,00	 5,00 1,00
Прокат калібрований: нормальної точності без правки після правки	 4,0 2,0	 4,0 4,0	 3,0 1,5	 3,0 1,5	 2,0 1,0
Прокат холоднотягнутий: без правки після правки	 8,0 2,0	 6,0 1,2	 4,0 1,0	 2,0 1,0	 - -
Гартовані деталі після правки	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
Деталі після гартування СВЧ	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3

Таблиця 10.2

Відхилення від перпендикулярності торців відносно осі і бокових поверхонь відносно основи, мм

Методи отримання заготовки	Діаметр або товщина деталі, мм				
	До 20	20...50	50...100	100...200	300...500
Литво: в піщано-глинясті форми в металеві форми	 1,0-1,5 0,5-1,0	 1,5-2,0 0,8-1,2	 1,5-2,5 1,0-1,5	 2,0-3,0 1,5-2,0	 5,0 4,0
Вільне кування	2,0	2,0-3,0	3,0-5,0	5,0-7,0	7,0-10,0
Гаряче штампування	0,3-1,0	0,8-1,5	1,0-2,0	2,5-5,0	5,0-8,0
Рубка на ножицях і пресах	0,2-0,4	0,5-1,2	1,0-2,5	-	-
Різання: приводними ножовками дисковими пилами	 0,2-0,3 0,2-0,3	 0,4-0,6 0,3-0,5	 0,6-0,8 0,4-0,6	 0,8-1,0 0,5-0,8	 - -

Додаток 11

Середня статистична точність розташування оброблених циліндричних поверхонь відносно первинних баз на токарних операціях, мм

Таблиця 11.1

Встановлення в патроні з гвинтовим затискуванням

Методи отримання базових поверхонь	Радіальний напрямок				Осьовий напрямок			
	Інтервали діаметрів, мм							
	До 50	50…120	120…260	260…500	До 50	50…120	120…260	260…500
Литво в форми:								
піщаноглиняні	300	400	500	600	100	120	150	200
металеві	200	300	400	500	80	100	120	150
оболонкові	100	150	200	250	50	80	100	120

Таблиця 11.3

Встановлення у цанзі за упорами (похибка, в мкм)

Методи отримання базових поверхонь	Радіальний напрямок				Осьовий напрямок			
	Інтервали діаметрів, мм							
	10…18	18…30	30…50	50…80	10...18	18…30	30...50	50...80
Холоднотягнута калібрована	50	60	70	80	50	60	70	80
Попередньо оброблена	50	60	70	80	50	60	70	80
Начисто оброблена	25	30	35	40	25	30	35	40

Додаток 12

Середня статистична точність центрування

Таблиця 12.1

Середня статистична точність центрування (відхилення від співвісності центрових фасок відносно поверхонь заготовки, які використовують як технологічні бази), мм

Обладнання і методи обробки	Вид затискного пристрою	Метод отримання базових поверхонь	Діаметр базової поверхні, мм				
			До 30	30…50	50...80	80…120	≥120
1	2	3	4	5	6	7	8
Фрезерно-центрувальні двобічні, центрувальні двобічні верстати	Нерухомі призми	Литво і штампування	0,70	0,85	1,00	1,25	1,45
		Прокат	0,52	0,62	0,75	1,10	1,40
		Обточування	0,34	0,40	0,42	0,45	0,50

Продовження табл. 12.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Фрезерно-центр. двобічні, центр. двобічні верстати	Призми, самоцентруючі	Литво і штампування	0,52	0,65	0,80	0,95	1,00
		Прокат	0,40	0,45	0,55	0,85	0,90
		Обточування	0,26	0,30	0,35	0,40	0,45
	Зворотні центра	Литво і штампування	0,45	0,50	0,62	0,75	0,90
		Прокат	0,32	0,36	0,45	0,66	0,85
		Обточування	0,20	0,22	0,25	0,27	0,30
		Прокат	0,26	0,31	0,38	0,56	0,69
		Обточування	0,17	0,19	0,21	0,22	0,25
Токарні верстати	Кулачкові патрони	Литво і штампування	0,35	0,42	0,52	0,62	0,73

Примітка: Відхилення від паралельності загальної осі центрових отворів відносно бази приймати у межах 0,35...0,5 відхилення від співвісності.

Додаток 13

Середня статистична точність розташування оброблених циліндричних поверхонь

Таблиця 13.1

Середня статистична точність розташування (відхилення від співвісності) оброблених циліндричних поверхонь відносно центрових фасок, мм

Діаметр	Інтервал довжини, мм			
	До 120	120...260	260...500	500...1200
1	2	3	4	5
Нормальна точність встановлення, Н				
До 18	0,030	0,035	-	-
18...50	0,045	0,050	0,060	0,080
50...80	0,060	0,065	0,080	0,110
80...120	0,070	0,075	0,090	0,130
120...180	0,085	0,090	0,105	0,145
180...260	0,100	0,110	0,120	0,160
Підвищена точність встановлення, П				
До 18	0,010	0,010	-	-
18...50	0,012	0,015	0,020	0,025
50...80	0,020	0,020	0,025	0,035
80...120	0,020	0,025	0,025	0,040
120...180	0,025	0,030	0,030	0,030
180...260	0,030	0,035	0,035	0,050

V. HY Mk

Продовження табл. 13.1

1	2	3	4	5
Висока точність встановлення, В				
До 18	0,005	0,006	-	-
18...50	0,007	0,008	0,010	0,015
50...80	0,009	0.010	0,012	0,017
80...120	0,011	0,012	0,014	0,019
120...180	0,013	0,014	0,016	0,021
180...260	0,015	0,016	0,018	0,023

Примітка: Нормальну точність встановлення використовують при обдирці і чорновій обробці, підвищену – при чистовій обробці, високу – при шліфуванні і тонкому точінні.

Додаток 14

Таблиця 14.1

Точність методів механічної обробки

Методи обробки	Клас точності		Квалітет точності (СТ ГОСТ 145-75)	
	Розміри			
	діаметральні	лінійні	діаметральні	лінійні
1	2	3	4	5
Обточування на токарних верстатах:				
чорнове	5-7	7	12-14	14
чистове	3а-4	5-4	10-11	11-12
чистове підвищеної точності	2а	-	7	-
тонке	2	-	6	-
Фрезерування і стругання:				
чорнове				
сталі	-	5	-	12
чавуну	-	4	-	11
чистове				
сталі	-	4	-	11
чавуну	-	3а	-	10
чистове підвищеної точності				
сталі	-	3	-	9
чавуну	-	2а	-	8
Шліфування:				
за один прохід	3	3	9	9
чистове	2а	2а	8-7	8-7
чистове підвищеної точності	2	2	6-7	6-7
тонке	1	-	5-6	-

Продовження табл. 14.1

1	2	3	4	5
Розточування:				
чорнове	5	7-10	12	14-17
чистове	4	7	11	14
чистове па верстатах агрегатних	3-2а	3-4	8-9	9-10
алмазно-	1-2	3	6-7	9
координатно-розточувальних	1-2	3	6-7	9
Свердління:				
без кондуктора	5	8	12	15
по кондуктору	4	3а-4	11	10-11
Розвертування:				
одноразове	3	-	9	-
багаторазове	2	-	7	-
Протягування	2а-2	2а-2	7-8	7-8
Хонінгування	1-2	-	6-7	-

УжНУ

Навчальне видання

Жигуц Юрій Юрійович
Лазар Василь Федорович

РОЗМІРНЕ І МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ.
ЧАСТИНА 2.
РОЗМІРНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

ПОСІБНИК

Формат 60x84 1/16. Підписано до друку 15.01.2019.
Друк офсетний. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Умовн. друк. Аркушів – 8,29. Обл.-вид. аркушів – 8,09.
Наклад 350 пр.
Замовлення № 12-599.

ТОВ «Інвазор», Ужгород
.

УжНУ

МУКАЧІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

89600, м. Мукачево, вул. Ужгородська, 26
тел./факс +380-3131-21109
Веб-сайт університету: www.msu.edu.ua
E-mail: info@msu.edu.ua, pr@mail.msu.edu.ua
Веб-сайт Інституційного репозитарію Наукової бібліотеки МДУ: http://dspace.msu.edu.ua:8080
Веб-сайт Наукової бібліотеки МДУ: http://msu.edu.ua/library/