

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

_____ Віталій ІВАНОВ
_____ . _____ . 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»

зі спеціальності **131 «Прикладна механіка»**
освітньо-професійної програми **«Технології машинобудування»**
на тему:

ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ
КОРПУСУ ПІДШИПНИКІВ 1.1630-20.20-02

Здобувача групи **ТМ-91/1** **Невальонний Олександр Юрійович**

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ **Олександр НЕВАЛЬОННИЙ** _____
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник _____ доцент, канд. техн. наук, доцент **Артем ЄВТУХОВ** _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Консультант _____ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

РЕФЕРАТ

Записка: 79 с., 8 табл., 14 рис., 11 джерел.

Об'єкт роботи – технологічний процес виготовлення корпусу підшипників 1.1630-20.20-02.

Предмет роботи – структура та параметри технологічного процесу виготовлення корпусу підшипників 1.1630-20.20-02.

Мета роботи – підвищення ефективності технологічного процесу виготовлення корпусу підшипників 1.1630-20.20-02.

Корпус підшипників 1.1630-20.20-02 входить до роторного вузла центрифуги підвісного типу. Такі центрифуги набули широкого поширення в хімічній та цукровій промисловості. Отже підвищення ефективності технологічного процесу виготовлення корпусу підшипників та центрифуги загалом є актуальним завданням.

В роботі виконаний аналіз службового призначення виробу, аналіз технічних вимог на його виготовлення, визначено тип виробництва, в умовах якого планується виробництво деталі, проаналізовано конструкцію деталі на технологічність. Визначено раціональний спосіб одержання вихідної заготовки, визначені припуски на оброблення поверхонь та розміри заготовки. Для двох технологічних операцій обґрунтовано вибір раціональних схем базування заготовки, вибір металорізальних верстатів та оснастки, визначені раціональні режими різання та технічні норми часу на виконання операцій. Спроектовано верстатний пристрій для установки заготовки на комплексній з ЧПК операції.

**ЦЕНТРИФУГА, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, КОРПУС,
ВИЛИВОК, СВЕРДЛІННЯ, ФРЕЗЕРУВАННЯ, ВЕРСТАТНИЙ ПРИСТРІЙ**

ЗМІСТ

	С.
1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі	4
2 Аналіз технічних вимог, що висуваються до конструкції деталі.....	14
3 Визначення типу виробництва та форми організації робіт	20
4 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	23
5 Обґрунтування вибору методу одержання заготовки	29
6 Аналіз технологічного процесу механічного оброблення заготовки «корпусу підшипників»	32
6.1 Розрахунок припусків та розмірів заготовки	32
6.2 Визначення операційних припусків, допусків і розмірів на оброблення поверхні обертання	34
6.3 Обґрунтування вибору схем базування та закріплення заготовки на технологічних операціях	36
6.4 Обґрунтування вибору металорізального обладнання на технологічну операцію	51
6.5 Обґрунтування вибору технологічного оснащення на технологічну операцію	54
6.6 Визначення режимів різання.....	56
6.7 Технічне нормування операції.....	60
7 Проектування верстатного пристрою	65
Висновки	77
Перелік джерел посилання	78

<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>				
Змін.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		<i>Невальонний</i>		
Перевір.		<i>Євтухов</i>		
Н. контр.		<i>Дегтярьов</i>		
Затверд.		<i>Іванов</i>		
<i>Проектування технологічного процесу виготовлення корпусу підшипників 1.1630-20.20-02</i>				
		Літ.	Аркуш	Аркушів
			3	79
<i>СумДУ</i>				

ВСТУП

В хімічній, харчовій, медичній, металургійній та інших галузях народного господарства використовують центрифуги. Метод центрифугування, заснований на впливі силового відцентрового поля на неоднорідну систему, застосовують для поділу неоднорідних систем, що складаються з двох і більше фаз (суспензій та емульсій). Наша промисловість і, зокрема, Сумське машинобудівне виробниче об'єднання, випускає центрифуги всіх відомих світової техніки типів, у тому числі сучасні центрифуги з підвісним верхнім приводом та нижнім вивантаженням осаду.

Корпус підшипників 1.1630-20.20-02 входить до роторного вузла центрифуги підвісного типу. Такі центрифуги набули широкого поширення в хімічній та цукровій промисловості. Отже підвищення ефективності технологічного процесу виготовлення корпусу підшипників та центрифуги загалом є актуальним завданням.

Об'єкт роботи – технологічний процес виготовлення корпусу підшипників 1.1630-20.20-02.

Предмет роботи – структура та параметри технологічного процесу виготовлення корпусу підшипників 1.1630-20.20-02.

Мета роботи – підвищення ефективності технологічного процесу виготовлення корпусу підшипників 1.1630-20.20-02.

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

фаза до кінця процесу містить мінімальну кількість відокремлюваної рідини, яка утримується на поверхні частинок твердої фази і в місцях їх дотику. Щоб позбутися залишків рідкої фази, осад промивають іншою рідиною. Після закінчення центрифугування двигун центрифуги вимикають, машина зупиняється, готовий продукт видаляється з ротора. Вивантаження за допомогою механічних ножів здійснюється при обертанні ротора з невеликою швидкістю.

Центрифуга ФПИ-1251Л-08 – це швидкохідна машина з повною автоматизацією всіх органів керування. Вона відноситься до машин з інерційним вивантаженням осаду [1]. Перевагою центрифуг безперервної дії з інерційним вивантаженням є відсутність будь-яких пристроїв, які переміщують осад уздовж ротора. Розвантаження відбувається під дією на осад відцентрових сил інерції, що перевершують сили тертя осаду сита або направляючі пристрої.

Центрифуги безперервної дії з інерційним вивантаженням осаду працюють за постійної частоти обертання ротора, що забезпечує одержання продукту однакової якості. Зважаючи на відсутність допоміжних операцій (розгін, гальмування, вивантаження та ін.) продуктивність центрифуг значно підвищується. Крім того, спрощується їх конструкція, що полегшує їх обслуговування та знижує вартість виготовлення.

Основними вузлами центрифуги є: кульова опора, ротор, привід, кожух із кришкою, гальмо, сегрегатор та металоконструкція. Центрифуга встановлюється на металоконструкції, що складається з двох опорних стійок та двох поздовжніх балок-швелерів, з'єднаних у верхній частині стійок. Центрифуга приводиться в обертання індивідуальним спеціальним електродвигуном через клинопасову передачу на проміжний привід, муфту зчеплення і далі – на вал з ротором. Гальмування центрифуги – електричне рекуперативне, з механічним гальмуванням стрічковим гальмом.

Електродвигун з'єднаний з валом центрифуги за допомогою еластичної гумової муфти, вал закріплений у приводі на шарнірній опорі. Між корпусом приводу і корпусом підшипників встановлений гумовий амортизатор, який за

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

неврівноваженості обертової маси, значно полегшує умови роботи підшипників кочення і валу, приймаючи на себе удари і колювання. Обертовий вал може відхилятися від вертикальної осі внаслідок деформації гумового амортизатора, що призводить до самоврівноваження обертових мас.

Ротор центрифуги – циліндричний, з перфорованою обічайкою, підвішений на нижньому кінці валу та викладений усередині підкладним та фільтруючим ситами. Кожух центрифуги є збіркою фільтрату. Днище кожуха має ухил у бік спускного штуцера. Живильник центрифуги забезпечений двома шибєрними засувками, керованими пневмоциліндрами та спеціальним виконавчим механізмом. Відфільтрований продукт вивантажується через нижній штуцер кожуха.

В таблиці 1.1 наведено технічні характеристики центрифуги.

Електродвигун центрифуги розрахований на роботу від мережі змінного трифазного струму з частотою 50 Гц за температури навколишнього середовища до 40 °С і відносної вологості 95%.

Одним з основних вузлів приводу центрифуги є вузол підвіски валу з ротором центрифуги, зокрема, кульова опора підвіски.

Основні деталі приводу – корпус, гальмівний шків, еластична гумова муфта, зовнішня шліцьова втулка, стрічкове гальмо, внутрішня шліцьова втулка, закріплена на валу електродвигуна. «Корпус підшипників 1.1630-20.20-02» спирається верхньою кульовою поверхнею у вкладиші корпусу приводу та зафіксований від кругового обертання спеціальним штифтом. Між корпусом приводу та «корпусом підшипників» встановлений гумовий амортизатор, що затискається за допомогою гайки конічною втулкою, що ковзає по шпонці. У «корпусі підшипників» на двох радіальних та одному упорному підшипниках кочення через втулку підшипників встановлений вал центрифуги. З боку гальмівного шківа корпус закритий кришкою. Зазор між кришкою і маточиною шківа, на якій є нарізка, зворотна обертанню вала, запобігає витоку масла з корпусу.

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики центрифуги ФПІ-1251Л-08

Найменування характеристики	Величина
Ротор	
Внутрішній діаметр, мм	1250
Висота, мм	1000
Кут нахилу твірної конуса, град.	34
Найбільша частота обертання на хвилину	1760
Найбільший фактор розділення	2283
Ємність, дм ³	700
Найбільше завантаження, кг	1000
Робочий тиск, МПа	
В пневмосистемі	0,8
В гідросистемі	0,4
В системі пропарювання	0,2
Розрахункова продуктивність за кінцевим продуктом, т/год	7,5
Коефіцієнт динамічності	4
Електродвигун приводу	
Тип	АДЦ-65/185-4
Потужність, кВт	90
Напруга в мережі, В	380
Габаритні розміри, мм	
Довжина	2480
Ширина	2630
Висота	
- над рівнем підлоги	3885
- нижче рівня підлоги	1240
Маса установки, кг	8450

На рисунку 1.1 та рисунку 1.2 наведені ескізи «корпусу підшипників 1.1630-20.20-02». Деталь відноситься до класу ступінчастих втулок з максимальним діаметром фланця $\varnothing 470C11$ і мінімальним діаметром зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 325$, довжиною – 400 мм, мінімальним внутрішнім діаметром ступінчастого отвору $\varnothing 250H7$, максимальним діаметром поверхні отвору $\varnothing 430$ та мінімальною товщиною стінки – 20 мм. Маса деталі – 126 кг, матеріал – сталь 25Л ГОСТ 977-88.

										Арк.
										8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	ТМ 19510046–00.ПЗ					

Основне службове призначення «корпусу підшипників» – установка «втулки підшипників» з валом ротора в підшипниках кочення всередині корпусу підвіски приводу центрифуги. Тому основною конструкторською базою «корпусу підшипників» є сферична поверхня: R260h9, за якою деталь спирається на вкладиш, розташований у корпусі підвіски приводу центрифуги. В результаті, зазначена сферична поверхня «корпусу» є подвійною опорною плюс опорною базою (опорно-центрувальною), що позбавляє деталь трьох ступенів свободи: трьох поступальних переміщень вздовж осей X, Y та Z. Вакантними залишаються обертальні переміщення «корпусу підшипників» навколо тих самих осей X, Y та Z.

Допоміжними конструкторськими базами «корпусу підшипників» є поверхні, якими до неї приєднуються у вузлі інші деталі. Зокрема, втулка підшипників з валом ротора центрифуги встановлюється в «корпусі підшипників» за допомогою двох радіальних підшипників кочення по внутрішніх циліндричних поверхнях на $\varnothing 250H7$ і $\varnothing 270H7$, кожна з яких позбавляє підшипники кочення двох опор. Тут як настановні бази, що позбавляють підшипники кочення ще трьох (усього – п'яти) ступенів свободи, є стопорні кільця, які встановлюються у відповідні канавки «корпусу підшипників», розміри яких: $\varnothing 272 \times 5$ та $\varnothing 252 \times 5$. Для зручності встановлення стопорних кілець з одного боку кожної канавки виконано фаски з розмірами: $1,6 \times 45^\circ$ і під кутом 60° відповідно. Ще одна канавка з розмірами $\varnothing 272 \times 5$ та фаскою під кутом $\angle 60^\circ$ у верхній частині деталі призначена для встановлення спеціального кільця, що підтримує зовнішнє кільце радіально-упорного підшипника.

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

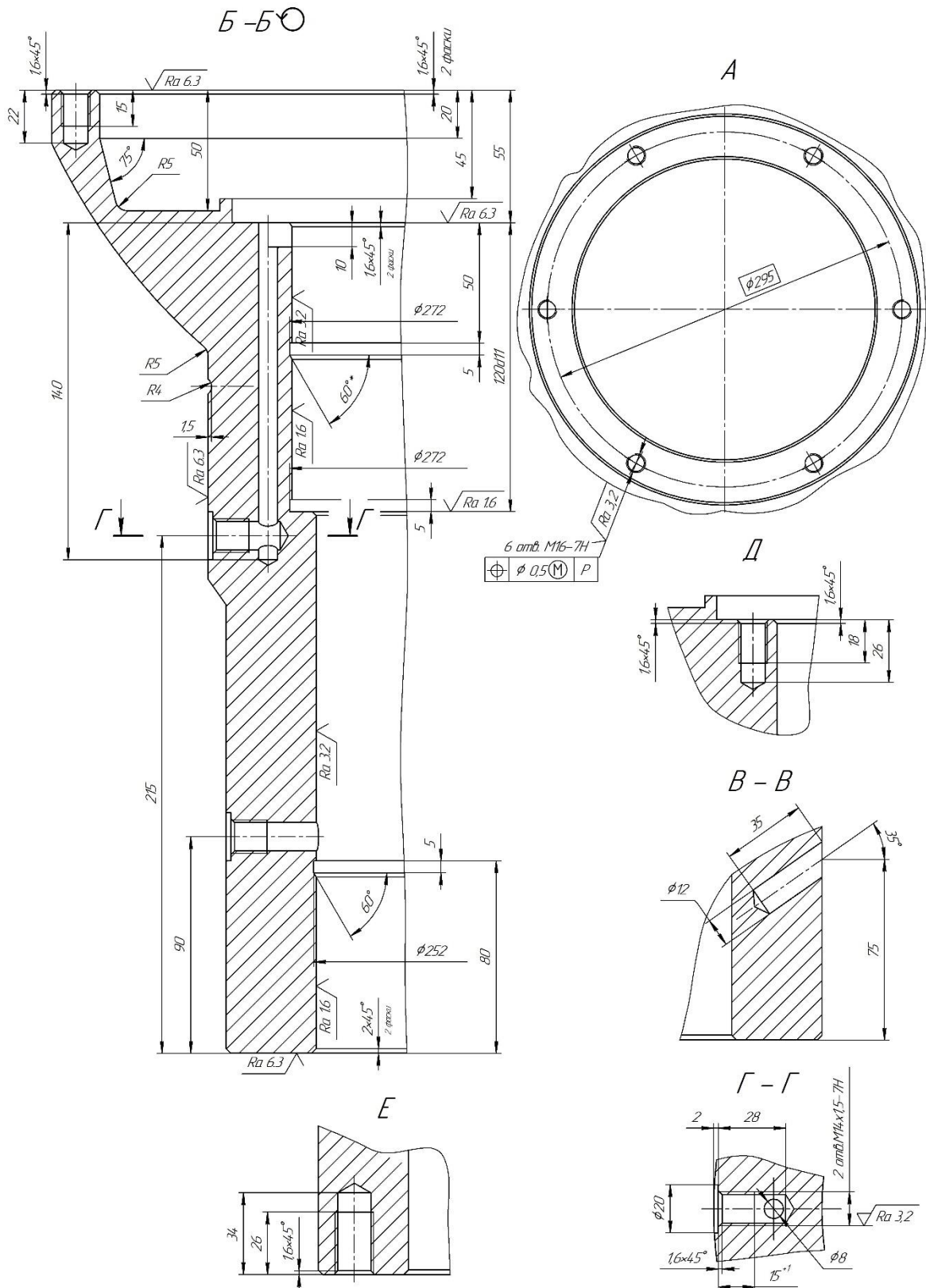


Рисунок 1.2 – Ескіз деталі

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ТМ 19510046-00.ПЗ

Арк.

11

У верхній частині внутрішнього торця «корпусу підшипників» на діаметрах $\varnothing 430/\varnothing 415/\varnothing 330$ з кутом нахилу $\angle 75^\circ$ і радіусом R5 виконано кільцеве поглиблення, в яке встановлюється гумовий амортизатор, що притискається до торця dna канавки зазначеного кільцевого заглиблення за допомогою спеціальної кришки. Остання кріпиться на зовнішньому торці «корпусу підшипників» з $\varnothing 470$ C11 по двох отворах кріплення M12-7H, розташованим на $\varnothing 450$. Ці отвори M12-7H, крім вищезгаданого, є ще й технологічними поверхнями, оскільки служать для установки спеціальних гвинтів знімача при демонтажі деталей вузла підвіски центрифуги, або установки двох рим-болтів при підйомі вузла підвіски.

Для запобігання непотрібним провертанням «корпусу підшипників» навколо вертикальної осі на його зовнішній поверхні $\varnothing 325$ на відстані 75 мм від нижнього торця деталі під кутом $\angle 35^\circ$ виконано отвір $\varnothing 12$, в який встановлюється спеціальний штифт.

Внутрішні порожнини «корпусу підшипників» закриваються у верхній частині по торцевій поверхні з $\varnothing 320$ спеціальною кришкою, яка кріпиться по шести отворах M12-7H. По нижньому торцю «корпусу підшипників» за допомогою шести отворів кріплення M16-7H встановлюється спеціальний маслоуловлювач для запобігання витoku консистентного мастила ИЛи5/9-2 (ЦИАТИМ-203), що подається до підшипників кочення вузла підвіски.

Для подачі мастила до двох верхніх підшипників вузла по зовнішній циліндричній поверхні «корпусу підшипників» на $\varnothing 340$ виконано радіальний отвір M14 \times 1,5-7H для встановлення маслянки, через яку мастило за поздовжнім отвором $\varnothing 8$ та поперечним пазом шириною 8 \times 10 мм подається у верхню порожнину деталі. Аналогічний кріпильний отвір M14 \times 1,5-7H виконаний і в нижній частині «корпусу підшипників» на $\varnothing 325$, в який також встановлюється маслянка для подачі мастила в нижню порожнину вузла до радіального підшипника. Для щільного прилягання торців маслянок до зовнішніх

					<i>TM 19510046-00.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		12

циліндричних поверхонь «корпусу підшипників» по отворах M14×1,5-7H виконані циліндричні заглиблення Ø20×2 з плоским дном.

Для захисту сферичної поверхні R260h9 від пилу по зовнішній поверхні Ø340 виконано кільцеву канавку з R4 глибиною 1,5 мм, в яку встановлюється гумове кільце ущільнювача.

На зовнішніх і внутрішніх торцевих поверхнях «корпусу підшипників» виконані фаски 1,6×45° та 2×45°, які є технологічними поверхнями, що забезпечують зручність при обробленні відповідних поверхонь деталі та її подальшої експлуатації. Інші поверхні «корпусу підшипників» є вільними і формують її конфігурацію.

«Корпус підшипників 1.1630-20.20-02» працює в порівняно складних умовах як статичних, так і циклічних, знакозмінних навантажень, утримуючи в підвішеному стані обертовий ротор центрифуги (максимальна частота обертання 1760 об/хв). Водночас максимальна маса обертючих частин досягає 1100 кг. Деталь закрита від впливу навколишнього середовища, перебуваючи всередині «корпусу вузла підвіски» приводу центрифуги, і піддається примусовому змащуванню мастилом ИЛи5/9-2 (ЦИАТИМ-203), що потрапляє на неї від підшипників кочення. Інші поверхні вузла підвіски змащуються солідолом УС-3 ГОСТ 1033-79. Попадання пилу та бруду – не допустимо. Температура нагрівання «корпусу підшипників» має перевищувати 70°C. Під час експлуатації деталь піддається короткочасним вібраціям, що передаються на неї від ротора і валу центрифуги, водночас шарнірна підвіска «корпусу підшипників», як уже зазначалося вище, допускає відхилення системи від вертикальної осі і самоцентрування обертючих мас.

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		13

2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ, ЩО ВИСУВАЮТЬСЯ ДО КОНСТРУКЦІЇ ДЕТАЛІ

Деталь «корпус підшипників 1.1630-20.20-02», як зазначалося вище, служить для встановлення втулки підшипників з валом і ротором центрифуги в підшипниках кочення приводу центрифуги. Технічні вимоги на виготовлення виробу або складальної одиниці характеризують основні параметри якості, що перевіряються під час остаточного контролю або випробування. Деталь входить до складу вузла, а її розміри є ланками складальних розмірних ланцюгів чи впливають на характеристики якості складальних сполучень. Тому допуски розмірів, точність форми та взаємного розташування поверхонь, їх шорсткість, а також інші технічні вимоги до геометричних параметрів деталі конструктор призначає так, щоб відхилення параметрів деталі не перешкоджали забезпеченню вимог виготовлення складальної одиниці і виробу в цілому.

Робоче креслення «корпусу підшипників» дає повне уявлення про конфігурацію та розміри всіх поверхонь деталі, її матеріал і технічні вимоги і повністю відповідає стандартам ЄСКД на оформлення креслень. Усі розміри та шорсткість поверхонь зазначені з рекомендованих рядів згідно з вимогами ЄСКД.

«Корпус підшипників 1.1630-20.20-02» відноситься до тіл обертання типу ступінчастої «втулки» з відношенням довжини до її діаметру: $L/D < 1$. Деталь у верхній частині має фланцевий ступінь з $\varnothing 470$, шириною 109 мм і нижнім сферичним торцем з R260h9. При зовнішньому діаметрі «корпусу» в середній її частині в межах $\varnothing 340/\varnothing 325$, внутрішніх діаметрах $\varnothing 270/\varnothing 250$, довжині – 400 мм та мінімальній товщині стінки у середній частині – 35 мм деталь досить жорстка.

Аналіз технічних вимог на заготовку показує, що вона повинна виготовлятися із сталі 25Л ГОСТ 977-88 литтям за II групою. Точність виливки 13-0-0-13 ДСТУ 8981:2020. Технічні вимоги згідно з ТУ 26-12768-88. Такі вимоги задані цілком обґрунтовано, тому що «корпус підшипників», працюючи в порівняно складних умовах статичних та знакозмінних, циклічних навантажень,

										Арк.
										14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата						

ТМ 19510046–00.ПЗ

визначає працездатність та експлуатаційну надійність всього вузла підвіски ротора центрифуги. Вихід її з ладу спричиняє поломку всієї центрифуги. У зв'язку з цим, враховуючи конфігурацію деталі, обґрунтовано підібрано її матеріал – конструкційна нелегована сталь 25Л. Ця сталь має середній вміст вуглецю – 0,25% і має такі механічні властивості після термообробки (нормалізації чи нормалізації з відпусканням). Фізико-механічні властивості сталі 25Л наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Фізико-механічні властивості сталі 25Л [2]

Найменування характеристики	Величина
Межа текучості σ_T , МПа	240
Тимчасовий опір розриванню σ_b , МПа	450
Відносне подовження δ_5 , %	19
Відносне звуження, ψ %	30
Ударна в'язкість α_n , кгс·м/см ²	4,0

Ця сталь II групи вимог призначається для деталей відповідального призначення, що розраховуються на міцність та працюють за статичних навантажень. Водночас контролюється хімічний склад та зовнішній вигляд виливків, визначають межу плинності або тимчасовий опір та відносне подовження сталі. Заготовки із зазначеної сталі повинні мати ливарні ухили за ГОСТ 3212-77 і піддаватися термічному обробленню, що дозволить зняти внутрішні напруження і отримати більш в'язку серцевину металу заготовки, забезпечуючи його більш високу міцність втомленості, а, значить, підвищить і експлуатаційну надійність деталі в роботі.

Виходячи з вищевикладеного, обґрунтовано задані і вимоги щодо маркування та таврування заготовки шрифтом 5...6 – Пр3 ГОСТ 26020-80: Ку; Пу; Му; Чу; Ну, см. пункт 6 технічних вимог креслення «корпусу підшипників 1.1630-20.20-02». Зазначені вимоги для виливків II групи визначені стандартом та регламентують позначення на вільній торцевій поверхні фланця деталі тавра

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

відділу технічного контролю, номер креслення деталі, номер плавки сталі та її марку.

Технічні вимоги виготовлення деталі містять граничні відхилення розмірів, допуски взаємного розташування поверхонь, вимоги по шорсткості поверхонь. Зокрема, основна конструкторська база деталі виконується за 9 квалітетом точності (сфера R260h9). Крім того, сферична поверхня має шорсткість 0,4 мкм Ra і має бути притерта спільно з деталлю 1.1630-20.10-04. Як точність поверхні, так і її шорсткість задані цілком обґрунтовано, оскільки деталі, що притираються, працюють в шарнірній парі, утримуючи в підвішеному стані величезні обертові маси ротора центрифуги з оброблюваним продуктом. Враховуючи, що вся система, що розглядається, повинна мати можливість відхилитися від вертикальної осі в процесі експлуатації, обґрунтовано задано і вимогу щодо площі прилягання поверхонь деталей, що сполучаються в 95%. В іншому випадку, при ковзанні по сферичній поверхні мас до 1100 кг, можливе їх швидке зношування і вихід з ладу всього вузла підвіски ротора центрифуги. З цих міркувань вірно поставлено і залежне значення радіального биття сферичної поверхні з допуском 0,08 мм щодо бази $\varnothing 270H7$. Даний допуск відповідає 8-му ступеню точності. Закінчується сферична поверхня фланця циліндричним пояском $\varnothing 470c11$. Розмір пояска виконується за 11 квалітетом точності з великими негативними відхиленнями в системі валу, чого цілком достатньо, враховуючи, що дана поверхня не повинна торкатися сферичної поверхні «вкладиша» при коливанні «корпусу підшипників» у процесі експлуатації.

Допоміжні конструкторські бази для встановлення підшипників кочення виконуються за 7 квалітетом точності. По поверхнях $\varnothing 270H7$ та $\varnothing 250H7$ «корпусу підшипників» встановлюють зовнішні кільця підшипників і вказана посадка підходить для всіх режимів роботи деталей, що сполучаються. Відповідає зазначеній точності та шорсткості оброблення цих поверхонь – 1,6 мкм Ra. Виходячи з цих умов експлуатації, обґрунтовано жорсткі вимоги задані і за точністю взаємного розташування зазначених допоміжних конструкторських баз:

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Ø250H7 та Ø270H7. Допуск на радіальне биття цих поверхонь заданий у межах 0,02 мм, що відповідає 5-му ступеню точності, а допуск на торцеве биття поверхні Ø250/Ø270 деталі – 0,05 мм, що відповідає 7 ступеня точності. При цьому допуск на радіальне биття посадкових поверхонь взаємозалежний, що також обґрунтовано їх службовим призначенням і пов'язане з необхідністю точного центрування радіальних підшипників, оскільки недотримання цієї умови викличе дисбаланс обертових мас, підвіски ротора, призводячи до виникнення вібрацій і зносу посадкових поверхонь, що може викликати навіть поломку вузла та центрифуги в цілому. У свою чергу, жорсткі вимоги щодо торцевого биття деталі пов'язані з неприпустимістю осьових вібрацій, так як по торцю поверхні 250/270 встановлюється верхній радіальний підшипник вузла підвіски ротора. При цьому надмірні осьові коливання при великих масах обертових частин, викликають великі інерційні навантаження, які призводять до передчасного зносу і виходу з ладу підшипника, а також розбивки посадкових сферичних поверхонь «корпусу підшипників» і «вкладиша».

Внутрішні циліндричні поверхні $\text{Ø}270_{+0,3}^{+0,6}$ та $\text{Ø}250_{+0,3}^{+0,6}$ виконуються з точністю за 10–12 квалітетом, чого цілком достатньо для встановлення по них дистанційних втулок під зовнішні кільця підшипників. Відповідає їй і шорсткість поверхонь – 3,2 мкм Ra. У той же час, аналізуючи допуски на $\text{Ø}270_{+0,3}^{+0,6}$ та $\text{Ø}250_{+0,3}^{+0,6}$, слід зазначити, що вони задані неправильно з міркувань перестановки місцями верхнього з нижнім відхиленнями. І, крім того, зазначений допуск 0,3 мм не відповідає величині стандартного значення. За IT11 для розміру 250 мм він дорівнює величині допуску 0,29 мм, а за IT12 – 0,46 мм, а для розміру 270 мм за IT11 – допуск дорівнює 0,32, а за IT10 – 0,21 мм. На наш погляд, тут доречно було б вказати посадку з гарантованим зазором, забезпечуючи допуски: Ø250D11 та Ø270D11.

Внутрішні канавки під стопорні кільця: Ø272×5 з $\angle 60^\circ$ і Ø252×5 з $\angle 60^\circ$ виконуються по 14 квалітету точності з шорсткістю 12 мкм Ra. Такої точності

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

розмірів достатньо, тому що стопорні кільця розрізні, пружинні та при розтисканні компенсують усі неточності, забезпечуючи необхідну точність сполучень.

Для підведення до підшипників консистентного мастила в деталі виконано глибокий отвір $\varnothing 8 \times 140$ та паз 8×10 мм. Точність зазначених поверхонь – IT14, а шорсткість: 12,5 мкм Ra, що цілком відповідає їхньому службовому призначенню.

За 14 квалітетом точності виконуються і розміри кільцевого (торцевого) поглиблення з 430/415/330 і шорсткістю 12,5 мкм Ra. Цієї точності також досить, оскільки в зазначене поглиблення встановлюється гумовий амортизатор, матеріал якого легко деформується і компенсує всі неточності виготовлення поверхонь. У той же час зайва точність при виконанні вищезгаданих розмірів лише підвищує собівартість виготовлення деталі.

Обґрунтовано задані вимоги щодо точності різьблення 2-х отворів M14 \times 1,5-7H. Для різьблення діаметром 14 мм крок 1,5 мм – дрібний, що підвищує надійність і герметичність різьбового з'єднання, так як у ці отвори встановлюють маслянки для подачі до підшипників консистентного мастила.

Точність шести різьбових отворів на верхньому (внутрішньому) торці «корпусу підшипників» задана за 7H (M12-7H). По цих кріпильних отворах встановлюється «кришка», що закриває внутрішні порожнини вузла від попадання пилу та інших забруднень. Це звичайна, нормальна точність виготовлення внутрішніх різьблень. Її цілком достатньо для забезпечення нерухомих, роз'ємних різьбових з'єднань. Тут же (на фланці) розташовані два інші отвори M12-7H. За цими отворами кріпиться спеціальна кришка для притиску гумового амортизатора, а при розбиранні вузла по них встановлюються римболти, для яких не потрібно більш точного з'єднання. Як і в попередньому випадку, тут забезпечується роз'ємне нерухоме з'єднання і такої точності цілком достатньо.

Аналогічну точність регламентовано і для шести різьбових отворів у нижньому торці «корпусу підшипників» – M16-7H, за якими до останнього

					<i>TM 19510046-00.ПЗ</i>	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

кріпиться маслоуловлювач. Такої точності також досить, оскільки і тут забезпечується роз'ємне нерухоме з'єднання.

Обґрунтовано задано і точність зовнішніх циліндричних поверхонь «корпусу» $\varnothing 340$ та $\varnothing 325$ – за IT14, оскільки це вільні поверхні, що формують лише зовнішній контур деталі. Відповідає їм і шорсткість поверхні: 6,3 мкм та 12,5 мкм Ra. А ось точність габаритного лінійного розміру «корпусу» – 400с11 задано за 11 квалітетом. Така точність – обґрунтована, оскільки вона формує лінійний розмірний ланцюг вузла, в який входять три підшипники, три дистанційні втулки та дві кришки вузла кульової підвіски ротора центрифуги. Як зауваження можна було б відзначити, що тут простіше було б виконати зазначений розмір h11, що є кращим допуском в системі валу.

Точність інших вільних поверхонь деталі, зокрема, за розмірами фасок, радіусів, лінійних розмірів задано згідно з H14, h14 и $\pm t_2/2$, що цілком відповідає їхньому службовому призначенню. Відповідає їм і шорсткість поверхонь – (6,3–12,5) мкм Ra.

Інші технічні вимоги, переважно, задані чітко, завдання, що стоять перед технологом зрозумілі.

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3 ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ВИРОБНИЦТВА ТА ФОРМИ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБІТ

Тип виробництва згідно з ГОСТ 3.1108-74 характеризують коефіцієнтом закріплення операцій $K_{з.о}$, що визначає відношення всіх різних операцій, виконуваних підрозділом протягом місяця, до кількості робочих місць. На перших етапах проектування, а також у навчальних цілях з достатньою мірою точності тип виробництва можна визначити табличним методом, з подальшим уточненням за коефіцієнтом закріплення операцій. Виходячи з попереднього аналізу, враховуючи масу деталі $m_d = 126$ кг та річну програму випуску $N_p = 250$ штук, маємо дрібносерійний тип виробництва [3].

Коефіцієнт закріплення операцій визначимо за аналітичною методикою, наведеною в [3] з використанням шаблону MS Excel. Як первинні дані для визначення $K_{з.о}$ візьмемо штучний час $T_{шт}$ за операціями відповідно до базового технологічного процесу виготовлення деталі та річний обсяг випуску деталей $N = 250$ шт.

Кількість потрібного металорізального устаткування визначимо за формулою [3]:

$$m_p = \frac{N \cdot T_{шт}}{60 \cdot F_o \cdot \eta_{з.н}},$$

де $N = 250$ шт. – річний обсяг випуску деталей відповідно до завдання на проектування;

$T_{шт}$ – штучний час на операцію, хв;

$F_o = 4029$ год. – дійсний річний фонд часу роботи обладнання;

$\eta_{з.н} = 0,8$ – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання (для умов серійного виробництва).

					ТМ 19510046–00.ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Результати розрахунку потрібної кількості за операціями наведені в таблиці додатку Б.

Кількість робочих місць за кожною операцією:

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = P_5 = P_6 = P_7 = P_8 = P_9 = 1.$$

Фактичний коефіцієнт завантаження робочого місця визначимо за формулою:

$$\eta_{з.ф} = \frac{m_p}{P}.$$

Результати розрахунків за кожною операцією також наведені в додатку Б.

Кількість операцій, виконуваних на робочому місці визначимо за формулою:

$$O = \frac{\eta_{з.н}}{\eta_{з.ф}}.$$

Результати розрахунків за кожною операцією також наведені в додатку Б.

Коефіцієнт закріплення операцій визначимо за формулою:

$$K_{з.о} = \Sigma O / \Sigma P = 206,74 / 9 \approx 22,97.$$

Величина $K_{з.о} = 22,97$ входить в діапазон від 20 до 40 одиниць, що відповідає дрібносерійному типу виробництва [3]. Отже результати визначення типу виробництва за аналітичною методикою співпали з табличним методом.

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		21

За дрібносерійного типу виробництва вироби виготовляють партіями або серіями, що складаються з однойменних, однотипних за конструкцією та типорозмірів виробів, що запускаються у виробництво одночасно [3–4].

Застосовується різноманітне технологічне обладнання та оснастка: верстати універсальні та з числовим програмним управлінням, оснастка універсальна, нормалізована, стандартизована з механізованим та ручним приводом. Обробка заготовок проводиться партіями із послідовним виконанням операцій. Обладнання розташовується, в основному, за групами верстатів: токарні, фрезерні, свердлильні, розточувальні, шліфувальні та інші.

Середня кваліфікація основних виробничих робітників при цьому вища, ніж у масовому чи великосерійному виробництві, але нижча, ніж у одиничному і становить 3, 4 та 5 розряди. Для допоміжних робочих – це також розряди 3–5. Серійне виробництво значно економічніше, ніж одиничне, оскільки найкраще використання спеціального обладнання та оснастки (за рахунок великих партій оброблюваних деталей) дозволяє зменшити собівартість продукції.

Отже, приймаємо форму організації робіт у дрібносерійному виробництві – групову.

Кількість деталей у партії для одночасного запуску допускається визначати спрощеним способом за формулою [3]:

$$n = \frac{N \cdot a}{259},$$

де $a = 24$ – періодичність запуску виготовлюваних деталей, в днях [3].

В результаті маємо:

$$n = (250 \cdot 24) / 259 = 23,16,$$

беремо цілу кількість деталей $n = 24$ шт.

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		22

4 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ДЕТАЛІ

Виконаємо аналіз технологічності конструкції деталі «корпус підшипників», спрямований на підвищення продуктивності праці, зниження витрат та скорочення часу на проектування, технологічну підготовку виробництва, виготовлення, технічне обслуговування та ремонт виробу за умови забезпечення необхідної його якості, дотримання безпечних умов праці та екології виробництва. Відомо, чим простішою є конструкція виробу, чим менша трудомісткість і собівартість його виготовлення, тим більше технологічним є виріб [3–4].

Аналіз матеріалу заготовки показав, що вона повинна виготовлятися зі сталі 25Л ГОСТ 977-88 литтям за II групою. Це недорога, ливарна конструкційна нелегована сталь із середнім вмістом вуглецю 0,25 % і порівняно високими фізико-механічними властивостями після термооброблення (нормалізації або нормалізації з відпусканням), див. розділ 2 цієї роботи. Ця сталь призначається для деталей відповідального призначення, що працюють за статичних навантажень, оскільки «корпус підшипників», працюючи в порівняно складних умовах, визначає працездатність та експлуатаційну надійність всього вузла підвіски ротора центрифуги. Заготовки із зазначеної сталі повинні піддаватися термічній обробці, що дозволить зняти внутрішні напруження і отримати більш в'язку серцевину металу заготовки, забезпечуючи його більш високу міцність втоми, а, значить, підвищить і експлуатаційну надійність деталі під час функціонування. Оброблюваність такої сталі різанням – гарна, що підвищує технологічність конструкції деталі. За використання двокарбідних твердих сплавів типу ТК (Т5К10; Т15К6) можна отримати необхідну точність IT7 і необхідну шорсткість поверхонь – 1,6 мкм за критерієм Ra стандартним лезовим інструментом.

Заготовка «корпусу підшипників» виходить у заводських умовах литтям у піщано-глинисті форми за II групою точності. Точність вилівка 13-0-0-13 ГОСТ 26645-85 (ДСТУ 8981:2020). Цей метод отримання заготовки та її точність в умовах дрібносерійного виробництва забезпечує оптимальний розкрій матеріалу

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

з досить невисокою собівартістю одержання заготовки, що є технологічним фактором. Разом з тим, враховуючи велику масу заготовки (у межах 270 кг), за цим показником її можна вважати недостатньо технологічною, оскільки це ускладнить її встановлення на верстати під час механічного оброблення, вимагатиме використання більш габаритного обладнання та технологічного оснащення.

За геометричною формою поверхонь «корпусу підшипників», його конструкція є досить простою і порівняно технологічною і є тілом обертання типу східчастої «втулки» з відношенням довжини до її діаметру: $L/D < 1$. Деталь у верхній частині має фланцеву сходинку з $\varnothing 470$, шириною 109 мм і нижнім сферичним торцем R260h9. При зовнішньому діаметрі «корпусу підшипників» у середній його частині в межах 340/325 мм, внутрішніх діаметрах 270/250 мм, довжині 400 мм і мінімальній товщині стінки в середній частині 35 мм деталь є досить жорсткою. Її зовнішні та внутрішні діаметральні розміри зменшуються від одного кінця деталі до іншого за незначних перепадах діаметрів, що є технологічним фактором. Підвищує технологічність і висока уніфікація фасок, що застосовуються в кріпильних отворах. Незалежно від діаметра різі, що нарізується, скрізь застосовуються фаски $1,6 \times 45^\circ$.

На деталі відсутні різкі переходи між зовнішніми і внутрішніми циліндричними сходинками, для чого між ними передбачені фаски, радіусні і конічні переходи, що усуває концентратори напружень, підвищує її експлуатаційну надійність і є технологічним фактором, див. рисунок 1.1.

Проставлення розмірів деталі виконане правильно, дозволяє поєднати технологічні та вимірювальні бази і, тим самим, усунути похибки базування під час механічного оброблення заготовки, підвищити точність обробки поверхонь деталі.

Загалом, конфігурація поверхонь «корпусу підшипників» є порівняно раціональною, їх якість дозволяє в процесі як отримання заготовки, так і під час механічного оброблення використовувати високопродуктивне обладнання та

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

інструмент, багаторізцеві налагодження, проводити оброблення низки поверхонь напрохід.

Разом з тим, у конфігурації «корпусу підшипників» є і ряд нетехнологічних елементів. Насамперед, це стосується наявності на одному з її торців фланцевої частини. Це ускладнює базування та закріплення заготовки під час її механічного оброблення, підвищує коефіцієнт використання матеріалу. Через великий перепад зовнішніх діаметрів фланця і маточини ($\varnothing 470C11/\varnothing 325$), неможливо при переустановках заготовки в межах однієї операції використовувати один і той же верстатний пристрій, що, в результаті призводить до розділення такої операції на дві, а значить, знизить точність та продуктивність виробництва загалом, підвищить її собівартість. Водночас для досягнення необхідної якості поверхонь необхідно використовувати різноманітне, спеціальне технологічне оснащення, що дозволяє виробляти необхідну кількість переустановок заготовки та збільшує допоміжний час.

До нетехнологічних конструктивних елементів деталі слід віднести обробку конічних та сферичних поверхонь. Зокрема, при переході від маточини з $\varnothing 340$ до фланця на $\varnothing 470C11$ виконується сферична поверхня з $R260h9$ та шириною 87 мм, а між ступенями $\varnothing 340$ та $\varnothing 325$ – конічний перехід з кутом $\angle 55^\circ$. Ускладнює механічну обробку та створення різних радіусних переходів з $R5$ на зовнішніх і особливо внутрішніх східцях деталі. Утруднене оброблення трьох внутрішніх канавок на $\varnothing 270H7$ і $\varnothing 250_{+0,3}^{+0,6}$ шириною 5 мм і з фаскою під кутом $\angle 60^\circ$, причому остання виконується лише у двох канавках. Це вимагатиме використання двох різних спеціальних канавкових різців. Для обробки зовнішньої кільцевої канавки з радіусом $R4$, глибиною 1,5 мм на діаметрі 340 також знадобиться спеціальний канавковий різець. В результаті знижується продуктивність обробки, зростає її собівартість.

З умов застосування малопродуктивних методів обробки, нетехнологічним слід вважати і обробку закритого з одного боку паза 8×14 з $R4$ і глибиною 10 мм,

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		25

отвори: $\varnothing 8$ і $\varnothing 12$. Водночас глибина всіх отворів і довжина нарізних різьблень – різна. У результаті збільшуються витрати на виготовлення ріжучих інструментів, ускладнюються операційні налагодження із залученням більшої кількості різців, свердел і мітчиків, зростає кваліфікація робітників та собівартість обробки. У заводському технологічному процесі обробки отворів і паза застосовується попереднє малопродуктивне ручне розмічування.

Не технологічно у виготовленні свердління двох отворів під різьблення $M14 \times 1,5-7H$, оскільки проводиться на циліндричній сходинці $\varnothing 325$ і для усунення зміщення свердлів необхідно їх попереднє центрування більш жорстким інструментом. І особливо складна обробка отвору $\varnothing 12$, оскільки виконується на зовнішній циліндричній поверхні маточини заготовки ($\varnothing 325$) під кутом $\angle 35^\circ$. Для усунення зміщення свердла в заводському технологічному процесі застосовують попереднє фрезерування ділянки на циліндричній сходинці заготовки.

Підвищує трудомісткість механічної обробки заготовки висока розмірна точність деяких її поверхонь, зокрема внутрішніх – $\varnothing 250H7$ та $\varnothing 270H7$, зовнішньої сфери – $R260h9$; низька шорсткість поверхонь у межах (1,6 мкм – 0,4 мкм) Ra при загальній шорсткості поверхонь деталі в межах 12,5 мкм Ra ; також високі вимоги щодо точності взаємного розташування поверхонь, такі як радіальне биття зазначених поверхонь щодо осі отворів $\varnothing 220H7$ і $\varnothing 270H7$ у межах 0,02 мм та 0,08 мм, див. рисунок 1.1. Для забезпечення зазначених вимог при механічній обробці необхідно використовувати додаткові чистові етапи, що вимагає застосування точнішого обладнання, технологічного оснащення, а в результаті зростають трудовитрати, час обробки, що знижує продуктивність обробки та підвищує її собівартість.

В іншому за своєю конфігурацією деталь технологічна і труднощів під час її механічного оброблення не передбачається.

На кресленні деталі використовується комбінований метод проставлення розмірів, що забезпечує зручність під час вимірювання в процесі механічної

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		27

обробки. Загалом розмірні ланцюги забезпечують однозначне визначення всіх конструктивних елементів деталі.

Враховуючи досить високу розмірну точність оброблюваних поверхонь і точність їх взаємного розташування, під час їх механічного оброблення слід максимально дотримуватися принципів єдності і сталості баз, а також намагатися обробляти максимально можливу кількість поверхонь з одного установа.

З точки зору складання необхідно відзначити, що деталь «корпус підшипника» розміщується у вузлі підвіски ротора центрифуги і може легко зніматися та встановлюватися в процесі експлуатації та ремонту, що підвищує її технологічність.

Отже, в результаті проведеного аналізу можна зробити висновок, що загалом «корпус підшипників 1.1630-20.20-02» технологічний як під час виготовлення заготовки, так і під час її подальшого механічного оброблення та складання виробу.

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		28

5 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МЕТОДУ ОДЕРЖАННЯ ЗАГОТОВКИ

У заводському технологічному процесі заготовку «корпусу підшипників 1.1630-20.20-02» одержують литтям у піщано-глинисті форми. Це цілком прийнятний метод отримання заготовки для умов одиничного та дрібносерійного виробництва. Трудомісткість отримання такої заготовки порівняно невелика і при цьому спостерігаються досить високі коефіцієнти використання матеріалу:

$$K_{в.м} = M_{д} / M_{заг} = 126 / 268 = 0,47.$$

де $M_{д}$ – маса деталі, кг;

$M_{заг}$ – маса заготовки, кг.

Як альтернативний варіант отримання заготовки можливе її утворення литтям за виплавленими моделями. У цьому випадку підвищиться коефіцієнт використання матеріалу: попередньо в межах $K_{в.м} = 126/210 = 0,6$, однак різко зросте собівартість отримання заготовки.

Обґрунтування вибору методу одержання заготовки за технічними ознаками віддає перевагу литтю в піщано-глинисті форми. Метод отримання заготовки за виплавленими моделями передбачає менші припуск та напуски, меншу вагу заготовки, менші обсяги подальшого оброблення поверхонь заготовки різанням, але є надзвичайно вартісним. Обладнання та оснастку за таких малих річних обсягів випуску виробів не можливо окупити. Остаточне рішення щодо оптимального методу отримання заготовки можна прийняти лише після економічного аналізу альтернативних варіантів.

Собівартість заготовко, отримуваних литтям, можна визначити за формулою [3]:

$$S_{заг} = \left(\frac{C_i}{1000} M_{заг} k_T k_C k_B k_M k_{II} \right) - (M_{заг} - M_{вдх}) \frac{S_{вдх}}{1000},$$

									Арк.
									29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата					

ТМ 19510046–00.ПЗ

де C_i – базова вартість 1 тони заготовок;

$k_T, k_C, k_B, k_M, k_{II}$ – коефіцієнти, що залежать відповідно від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу та об'єму виробництва заготовок.

$S_{вдх}$ – ціна 1 тони відходів.

Для лиття в піщано-глинисті форми з ручним формуванням маємо:

- $k_T = 1,05$ – для 11т степені точності [5];
- $k_M = 1,22$ – для виливок з вуглецевої сталі;
- $k_B = 0,74$ – для сталевих виливків масою до 500 кг;
- $k_C = 0,86$ – для виливків 1-ї групи складності;
- $k_{II} = 1$ – для 3-ї групи серійності зарічної програми випуску 250 штук.

Вартість 1 т сталюого литва в піщано-глинисті форми становить: $C_1 = 1430$ грн; вартість відходів: $S_{вдх} = 500$ грн; маса заготовки: $Q_1 = 268$ кг; маса готової деталі: $q = 126$ кг. В такому разі маємо:

$$S_{за1} = \left(\frac{64300}{1000} \cdot 268 \cdot 1,05 \cdot 1,22 \cdot 0,74 \cdot 0,86 \cdot 1,0 \right) - (268 - 126) \frac{5500}{1000} = 13270 \text{ грн.}$$

Для литва за випалюваними моделями маємо:

- $k_T = 1,0$ – для сталевих виливків;
- $k_C = 0,86$ – для 1-ї групи складності виливків;
- $k_B = 0,38$ – для чавунних виливків масою більше 10 кг;
- $k_M = 1,0$ – для виливків з вуглецевої сталі;
- $k_{II} = 1,23$ – для 3-ї групи серійності за річної програми випуску 250 штук.

Собівартість 1 т сталюого литва за випалюваними моделями становить: $C_2 = 3870$ грн; маса заготовки: $Q_2 = 230$ кг. В результаті маємо:

$$S_{за2} = \left(\frac{168700}{1000} \cdot 230 \cdot 1,0 \cdot 0,86 \cdot 0,38 \cdot 1,0 \cdot 1,23 \right) - (230 - 126) \frac{5500}{1000} = 15020 \text{ грн.}$$

									Арк.
									30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата					

ТМ 19510046–00.ПЗ

Отже, собівартість литва в піщано-глинисті форми майже в 1,13 раза менше собівартості литва за випалюваними моделями.

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		31

6 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ «КОРПУСУ ПІДШИПНИКІВ»

6.1 Розрахунок припусків та розмірів заготовки

Враховуючи конфігурацію, розміри, масу та програму випуску деталі «корпус підшипників» ми зупинилися на методі одержання заготовки – лиття у піщано-глинисті форми. У цьому випадку визначаємо припуски та допуски на заготовку згідно з ДСТУ 8981:2020 [5].

Для зазначеної деталі точність виливки 11-9-15-11 див. 2,4 ДСТУ 8981:2020, ряд припуску – 9, шорсткість поверхонь – 25 мкм Ra. Усі подальші розрахунки розмірів заготовки наведено до таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Розрахунок припусків та розмірів заготовки, в міліметрах

Розмір деталі	Допуски розмірів виливки	Допуски форми виливки	Загальні допуски елементів виливки	Загальний припуск на сторону виливки	Розрахунок розмірів заготовки	Остаточні розміри заготовки з допусками
1	2	3	4	5	6	7
Ø470c11	7,0	3,2	9,0	6,0	$470+6,0 \times 2=482,0$	$\text{Ø}482 \pm 4,5$
Ø340	6,4	2,4	7,0	4,9	$340+4,9 \times 2=349,8$	$\text{Ø}350 \pm 3,5$
Ø325	6,4	2,4	7,0	4,9	$325+4,9 \times 2=334,8$	$\text{Ø}335 \pm 3,5$
Ø415	7,0	3,2	9,0	6,0	$415-6,0 \times 2=403,0$	$\text{Ø}403 \pm 4,5$
Ø270H7	6,4	2,0	7,0	5,5	$270-5,5 \times 2=259,0$	$\text{Ø}259 \pm 3,5$
Ø250H7	5,6	1,6	7,0	5,5	$250-5,5 \times 2=239,0$	$\text{Ø}239 \pm 3,5$
45	4,0	0,8	4,0	3,4	$45+4,9-3,4=46,5$	$46,5 \pm 2,0$
175	5,6	1,2	6,4	4,5	$175+4,9-4,5=175,4$	$175,5 \pm 3,2$
109	5,0	0,8	5,0	4,1	$109+4,9+4,1=118,0$	$118,5 \pm 2,5$
190	5,6	1,2	6,4	4,5	$190+4,9-4,5=190,4$	$190,5 \pm 3,2$
400c11	6,4	2,4	7,0	4,9	$400+4,9 \times 2=409,8$	$410 \pm 3,5$

У таблиці 6.1 для виливків, що отримуються в умовах дрібносерійного виробництва призначено збільшені значення припусків, що відповідають інтервалам загальних допусків на один рядок нижче ніж інтервал дійсного допуску. Ескіз виливки представлений рисунку 6.1.

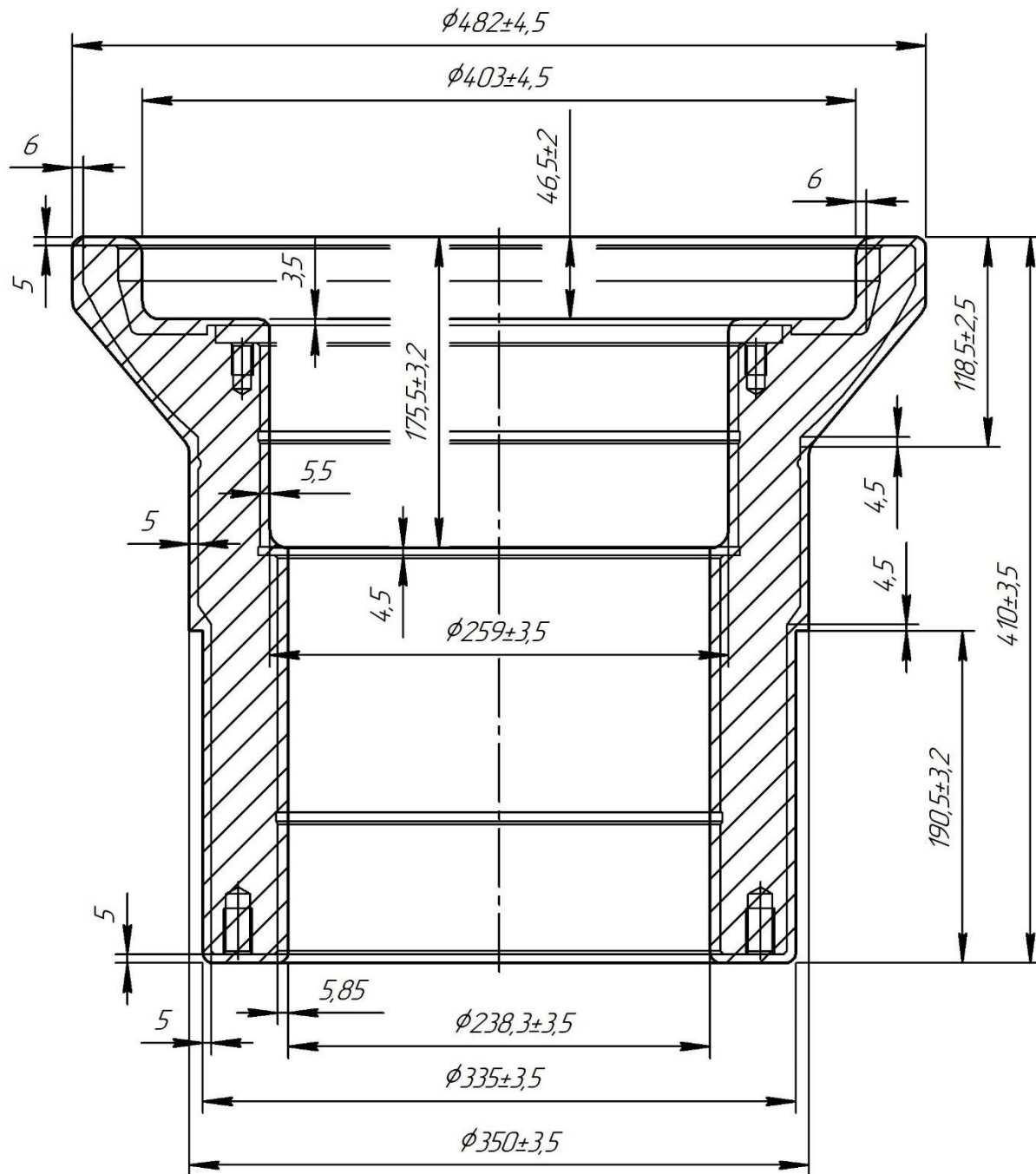


Рисунок 6.1 – Ескіз виливка

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ТМ 19510046-00.ПЗ

Арк.

33

6.2 Визначення операційних припусків, допусків і розмірів на оброблення поверхні обертання

Визначимо операційні припуски, допуски та розміри на оброблення отвору $\varnothing 250H7$ розрахунково-аналітичним методом професора В. М. Кована згідно з методикою [3].

Відповідно до технологічного процесу механічного оброблення циліндричного отвору $\varnothing 250H7$, останній обробляють в три етапи: чорнове, півчистове та чистове розточування. Усі необхідні для розрахунку на ЕОМ дані визначимо згідно з [3–5]. Як відомо, до складу величини мінімального операційного припуску входять шорсткість Rz_{i-1} та дефектний шар H_{i-1} , утворювані на попередньому до розглянутого (i -го) переходу:

- для вилівка: $Rz_{i-1} = 300$ мкм; $H_{i-1} = 300$ мкм;
- для чорнового розточування: $Rz_{i-1} = 100$ мкм; $H_{i-1} = 100$ мкм;
- для півчистового розточування: $Rz_{i-1} = 50$ мкм; $H_{i-1} = 50$ мкм;
- для чистового розточування: $Rz_{i-1} = 30$ мкм; $H_{i-1} = 30$ мкм.

Також до мінімального припуску на i -й перехід входить величина просторових відхилень поверхні, утворювана на попередньому ($i-1$) переході:

$$\rho_{i-1} = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{викр}^2},$$

де $\rho_{зм}$ – величина зміщення частин вилівка, мкм;

$\rho_{викр}$ – величина викривлення заготовки, мкм.

В результаті маємо

$$\rho_{викр} = \Delta_k \cdot D = 1 \cdot 250 = 250 \text{ мкм.}$$

де $\Delta_k = 1$ мкм – питома величина викривлення заготовки, мкм/мм [3];

					ТМ 19510046–00.ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$D = 250$ мм – діаметр оброблюваної поверхні.

Величина зміщення елементів виливка становить $\rho_{зм} = 2400$ мкм [5].

В результаті маємо

$$\rho_{i-1} = \sqrt{2400^2 + 250^2} \approx 2413 \text{ мкм.}$$

З урахуванням принципу спадковості на кожному наступному етапі оброблення поверхні буде залишатися лише частина просторової похибки від попередньої її величини. Так, під час визначення похибок просторових відхилень поверхонь для кожного наступного етапу оброблення необхідно враховувати певний коефіцієнт уточнення K_y :

$$\rho_{ості} = \rho_{i-1} \cdot K_y.$$

де $K_{y1} = 0,06$ – для чорнового розточування;

$K_{y2} = 0,05$ – для півчистового розточування

$K_{y3} = 0,04$ – для чистового розточування.

В результаті маємо:

$$\rho_{ост1} = 2413 \cdot 0,06 = 145 \text{ мкм,}$$

$$\rho_{ост2} = 2413 \cdot 0,05 = 121 \text{ мкм,}$$

$$\rho_{ост3} = 2413 \cdot 0,04 = 97 \text{ мкм.}$$

Під час визначення величини мінімального операційного припуску також необхідно враховувати похибку установки заготовки E_y на поточному (і-му) етапі оброблення поверхні [3, 4]:

- для чорнового розточування – 700 мкм;
- для півчистового розточування – 60 мкм;
- для чистового розточування – 80 мкм.

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Подальші розрахунки припусків та міжопераційних розмірів заготовки виконаємо з використанням програми Pripusk на ЕОМ. Первинні дані та результати розрахунків наведені в додатку В цієї роботи.

6.3 Обґрунтування вибору схем базування та закріплення заготовки на технологічних операціях

Вибір схем базування та закріплення заготовки надає істотний вплив як на точність і якість оброблюваних поверхонь, а й у подальше обґрунтування вибору верстатного устаткування, засобів технологічного оснащення. Вибрана схема базування має передбачати як принцип сталості, так і принцип єдності технологічної, конструкторської та вимірювальної баз, забезпечувати можливість простого, зручного та надійного закріплення заготовки, багатоінструментальної обробки поверхонь тощо.

Розглянемо вибір схеми базування на *радіально-свердлильну* операцію 050 технологічного процесу механічного оброблення заготовки «корпусу підшипників 1.1630-20.20-02».

На операції проводиться свердління отворів, зенкування фасок і нарізання різьблень на торцях заготовки з двох установів. Зокрема, на установі А див. рисунок 6.2:

1) свердляться 6 отворів $\varnothing 10,2^{+0,36}$ на глибину $26 \pm 0,26$ з дотриманням розміру $\varnothing 290 \pm 0,65$ і 2 отвори $\varnothing 10,2^{+0,36}$ на глибину $22 \pm 0,26$ з дотриманням розміру $\varnothing 450 \pm 0,775$;

2) зенкуються у 8 зазначених отворах фаски в розмір $1,6 \times 45^\circ$;

3) нарізується різь у 6 отворах – М12-7Н на глибину $18 \pm 0,215$ і в 2 отворах М12-7Н на глибину $15 \pm 0,215$;

4) свердлиться отвір $\varnothing 8^{+0,36}$ на глибину $140 \pm 0,5$ з дотриманням розміру $\varnothing 290 \pm 0,65$.

На установі Б реалізуються такі переходи, див. рисунок 6.3:

					ТМ 19510046–00.ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1) свердлиться 6 отворів $\varnothing 13,9^{+0,4}$ на глибину $34 \pm 0,31$ з дотриманням розміру $\varnothing 295 \pm 0,65$;

2) зенкуються в 6 зазначених отворах фаски в розмір $1,6 \times 45^\circ$;

3) нарізується різь у 6 отворах – М16-7Н на глибину $26 \pm 0,26$.

Як видно з рисунків 6.2 та 6.3 на радіально-свердлильній операції найбільш розвинені поверхні заготовки – це зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 325$, $\varnothing 340$ і $\varnothing 470$ С11, внутрішні циліндричні поверхні $\varnothing 250$ Н7, $\varnothing 250^{+0,3}_{+0,6}$, $\varnothing 270$ Н7 і $\varnothing 270^{+0,3}_{+0,6}$ а також нижня та верхня торцеві поверхні з лінійним розміром 400с11. До цієї операції зазначені поверхні вже оброблені остаточно. Зокрема, точність зовнішніх поверхонь $\varnothing 325$ і $\varnothing 340$ після токарної операції однакова і відповідає ІТ12, з допуском 0,57 мм, допуск на $\varnothing 470$ виконаний за ІТ11 і дорівнює 0,4 мм; для внутрішніх циліндричних поверхонь $\varnothing 250$ Н7 і $\varnothing 270$ Н7 – за ІТ7 з допуском 0,046 мм і 0,052 мм відповідно, а для $\varnothing 250^{+0,3}_{+0,6}$ і $\varnothing 270^{+0,3}_{+0,6}$ – за ІТ10–12 з допуском 0,3 мм; для торцевих поверхонь лінійний розмір 400с11 виконаний за ІТ11 з допуском 0,36 мм. Тому в якості головної базової поверхні в першому варіанті для установів А і Б візьмемо відповідно нижній і верхній торці заготовки, які є установчими базами, що позбавляють заготовку 3-х ступенів свободи – одного поступального руху вздовж осі Z і двох обертальних рухів навколо осей Y і X, а також зовнішні циліндричні поверхні при базуванні в призмах (або патроні), що є подвійною опорною базою, яка позбавляє заготовку 2-х ступенів свободи: двох поступальних рухів вздовж осей Y та X при вертикальному розташуванні осі заготовки. Таким чином, заготовка позбавляється п'яти ступенів свободи, чого цілком достатньо для цієї операції, оскільки їй не потрібні кутові прив'язки. В результаті вакантним залишається обертання навколо осі Z.

									Арк.
									37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата					

ТМ 19510046–00.ПЗ

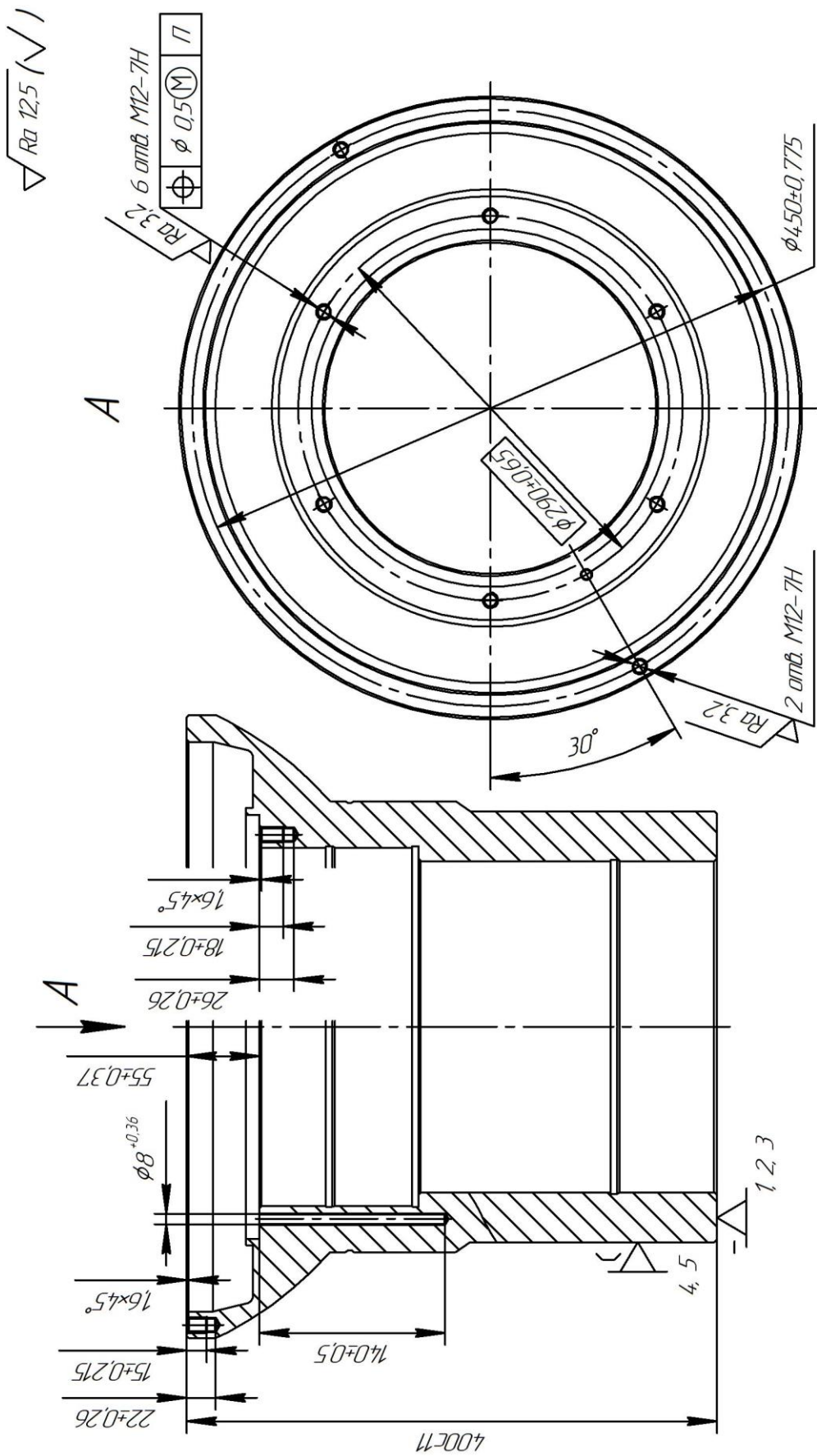


Рисунок 6.2 – Схема базування заготовки на операції радіально-свердильній 050 (установ А)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ТМ 19510046-00.ПІЗ

Арк.

38

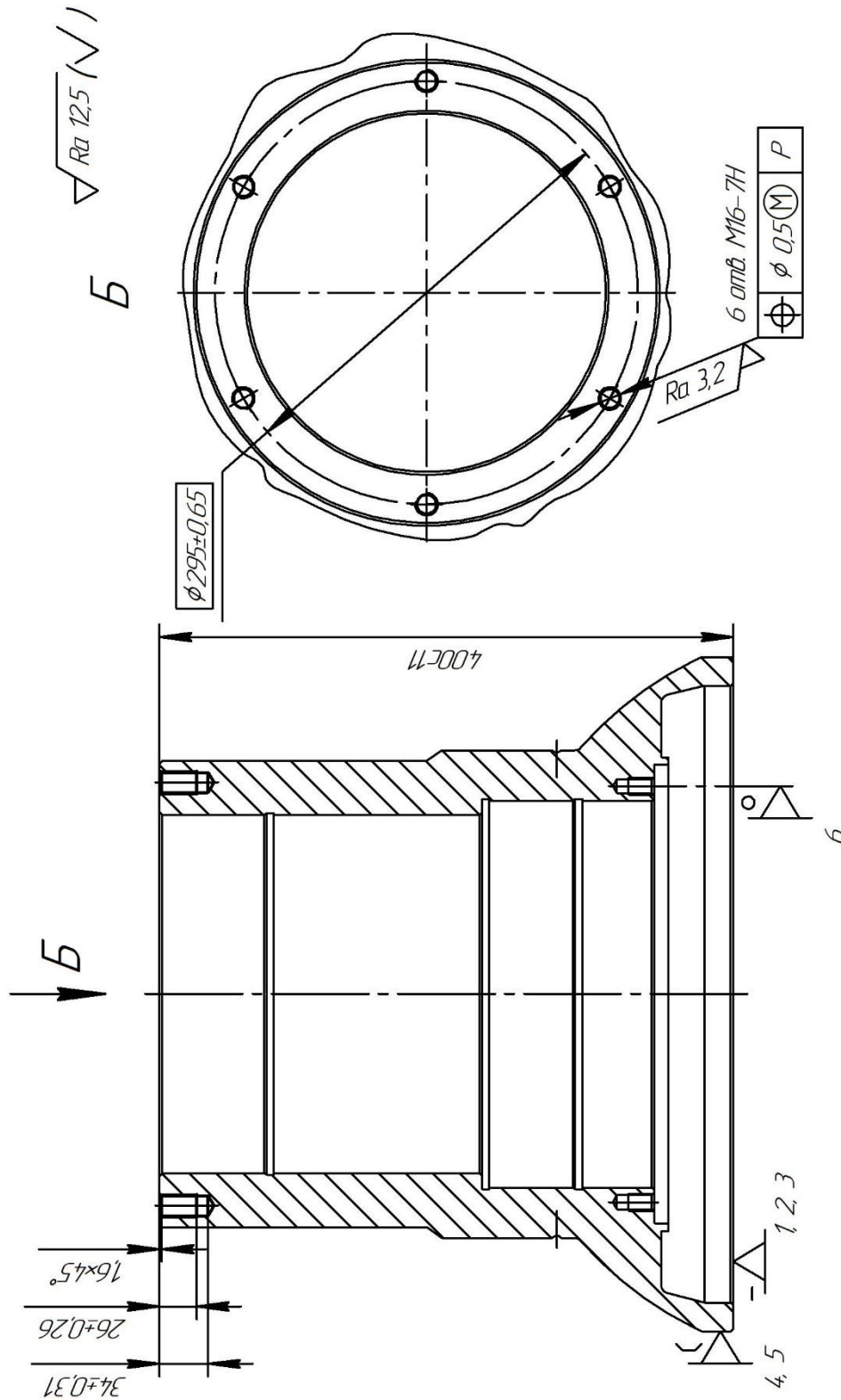


Рисунок 6.3 – Схема базування заготовки на операції радіально-свердильній 050 (установ Б)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ТМ 19510046-00.ПЗ

Як альтернативний варіант базування на установках А і Б, див. рисунки 6.4 і 6.5, беремо, відповідно, базування по внутрішніх циліндричних поверхнях $\varnothing 250$ і $\varnothing 270$ з упором в нижній і верхній торці заготовки. Як і в попередньому випадку, в якості головної базової поверхні для установок А і Б беремо відповідно нижній і верхній торці заготовки, які є установчими базами, що позбавляють заготовку 3-х ступенів свободи – одного поступального руху вздовж осі Z і двох обертальних рухів навколо осей Y і X, а також внутрішні циліндричні поверхні при базуванні на оправці (або патроні), що є подвійною опорною базою, яка позбавляє заготовку 2-х ступенів свободи: двох поступальних рухів уздовж осей Y і X при вертикальному розміщенні осі заготовки. Таким чином, заготовка також позбавляється п'яти ступенів свободи.

За таких схем базування технологічні бази поєднуються з вимірювальними та конструкторськими базами, що усуває похибки базування та забезпечує необхідну точність обробки. Проте подальший аналіз запропонованих на рисунках 6.2, 6.3, 6.4 і 6.5 схемах базування віддає перевагу першому варіанту з рисунків 6.2 і 6.3.

При базуванні по зовнішнім циліндричним поверхням їх можна встановлювати в призми або патрон. Останній варіант базування в патроні менш прийнятний через великі діаметральні і лінійні розміри заготовки, що різко збільшує габаритні розміри патрона, особливо якщо в його конструкції використовувати пневмопривід. В цьому разі зручніше використовувати самоцентрувальні призматичні лещата.

За таких схем установки похибки базування на операційні розміри, задані в радіальному напрямку відсутні. Це стосується отримання міжцентрових діаметральних розмірів. Відсутня похибка базування і на діаметральні розміри оброблюваних отворів, оскільки їх точність залежить від точності виготовлення та зношення мірних різальних інструментів – свердлів, зенківки і мітчиків.

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

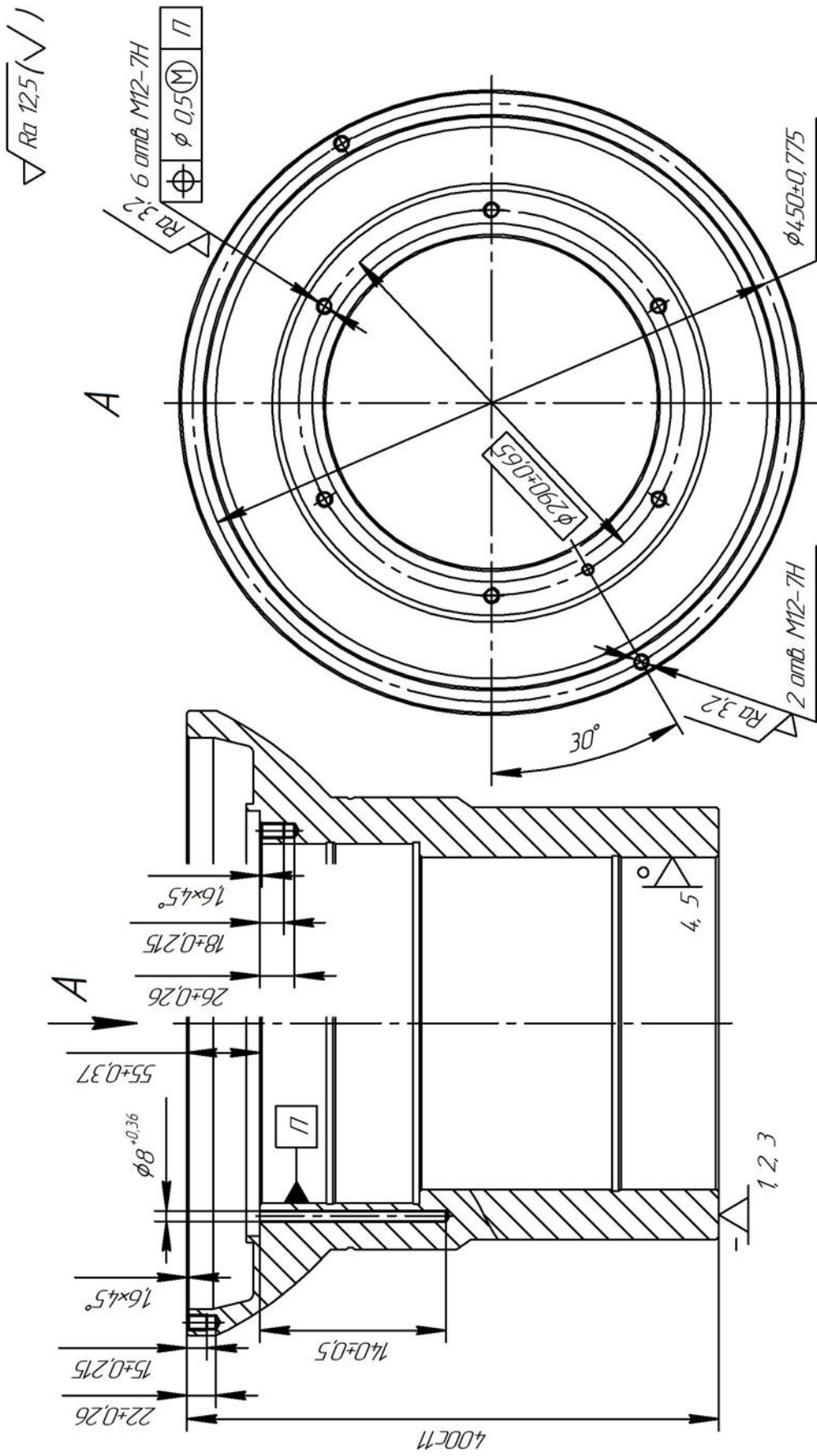


Рисунок 6.4 – Альтернативна схема базування заготовки на операції радіально-свердильній 050 (установ А)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ТМ 19510046–00.ПЗ

Арк.

41

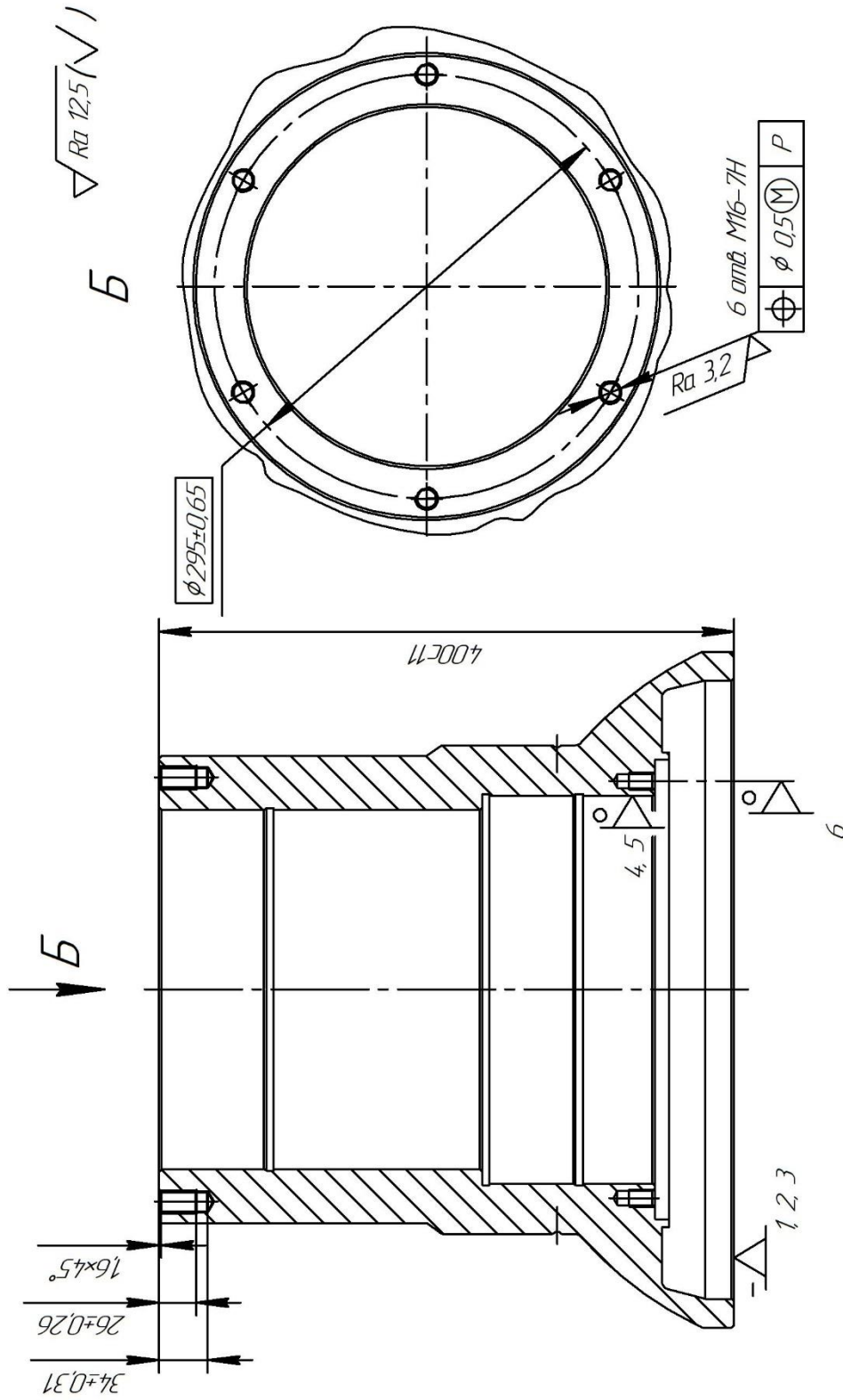


Рисунок 6.5 – Альтернативна схема базування заготовки на операції радіально-свердильній 050 (установ Б)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

TM 19510046-00.ПЗ

Арк.

42

А ось на лінійні розміри, що визначають глибину отворів і нарізаних різьблень, похибки базування не дорівнюють нулю, вони дорівнюють допускам на розміри що з'єднують технологічні і вимірювальні бази.

Так, для установка А маємо:

$$\varepsilon_{\phi 15} = \varepsilon_{\phi 22} = T_{400\phi 11} = 0,36 \text{ мм},$$

що менше ніж відповідні допуски: $T_{15} = 0,43 \text{ мм}$; $T_{22} = 0,52 \text{ мм}$ – це нас влаштовує.

Для розмірів 18 мм, 26 мм і 140 мм похибки базування перевищують допуски на ці розміри ($T_{18} = 0,43 \text{ мм}$; $T_{26} = 0,52 \text{ мм}$; $T_{140} = 1 \text{ мм}$):

$$\varepsilon_{\phi 18} = \varepsilon_{\phi 26} = \varepsilon_{\phi 140} = T_{400\phi 11} + T_{55} = 0,36 + 0,74 = 1,1 \text{ мм},$$

що є неприйнятним. В цьому разі для оброблення таких отворів бажано застосовувати верстат з ЧПК з налаштуванням інструментів по верхньому торцю заготовки, від якого і витримуються лінійні операційні розміри:

$$\varepsilon_{\phi 18} = \varepsilon_{\phi 26} = \varepsilon_{\phi 140} = 0 \text{ мм}.$$

Для установка Б похибки базування становлять:

$$\varepsilon_{\phi 34} = \varepsilon_{\phi 26} = T_{400\phi 11} = 0,36 \text{ мм},$$

що є прийнятним, оскільки величини похибок не перевищують величини відповідних допусків ($T_{34} = 0,62 \text{ мм}$; $T_{26} = 0,52 \text{ мм}$).

При базуванні по внутрішніх поверхнях (див. рисунки 6.4 і 6.5) можна використовувати як оправки так і патрон. У цих випадках похибки базування на операційні розміри визначаються аналогічно схемам з рисунків 6.2 і 6.3. При цьому застосування патрона, як і в попередньому випадку небажано, оскільки це

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		43

значно збільшує габаритні розміри конструкції пристрою. Водночас застосування оправки, з одного боку, значно ускладнює конструкцію пристрою з внутрішнім затискачем заготовки, що призведе до необхідності проектування спеціального, вартісного пристрою та підвищить собівартість виробництва деталі. По-друге, поверхня $\varnothing 250H7$ коротка за протяжністю, а поверхня $\varnothing 250_{+0,3}^{+0,6}$ має великий діаметр і це ускладнює введення оправки через отвір з меншим діаметром. По-третє, застосування оправки неможливе для базування заготовки на двох установках через великі перепади діаметрів внутрішніх поверхонь – $\varnothing 250$ і $\varnothing 270$.

В результаті аналізу альтернативних схем базування заготовки перевагу віддамо тим, що наведені на рисунках 6.2 і 6.3.

Розглянемо вибір схем базування на *горизонтально-розточувальну* операцію 060 технологічного процесу механічного оброблення заготовки «корпусу підшипників 1.1630-20.20-02».

На операції проводиться оброблення з двох установів. Спочатку на установі А фрезерується паз шириною 8 мм (R4) і глибиною 10 мм на відстані 55 мм від верхнього торця деталі на внутрішньому циліндричному ступені з $\varnothing 270$, а потім на установі Б свердлиться отвір $\varnothing 12$ на глибину 35 мм на зовнішній циліндричній поверхні $\varnothing 325$ та відстані 75 мм від нижнього торця деталі під кутом $\angle 35^\circ$, див. рисунки 6.6 та 6.7.

Як видно з рисунків 6.6 та 6.7 на горизонтально-розточувальній операції найбільш розвинені поверхні заготовки – це зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 325$ та $\varnothing 340$, внутрішні циліндричні поверхні $\varnothing 250H7$ та $\varnothing 250_{+0,3}^{+0,6}$, а також нижня торцева поверхня лінійним розміром 400с11. До цієї операції зазначені поверхні вже оброблені остаточно. Зокрема, точність зовнішніх поверхонь $\varnothing 325$ та $\varnothing 340$ після токарної операції – однакова та відповідає IT12, з допуском 0,57 мм, для внутрішньої циліндричної поверхні $\varnothing 250H7$ – по IT7 з допуском 0,046 мм та для

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$\varnothing 250_{+0,3}^{+0,6}$ – IT11–IT12 з допуском 0,3 мм, а для торцевої поверхні – IT11 з допуском 0,36 мм.

Тому в якості головної базової поверхні в першому варіанті беремо зовнішні циліндричні поверхні при базуванні в призмах (або патроні), які є подвійною напрямною базою, що позбавляє заготовку 4-х ступенів свободи: двох поступальних і двох обертальних рухів вздовж і навколо осей Y і Z при горизонтальному розташуванні заготовки. У цьому випадку – торець заготовки є опорною базою, що позбавляє її ще одного (п'ятого) ступеня свободи – поздовжнього переміщення вздовж осі X. Останній шостий ступінь свободи – обертання навколо власної осі X, заготовку позбавляє отвір $\varnothing 10,2$ під різьблення M12-7H на тому самому верхньому торці заготовки, див. рисунок 6.6.

Як альтернативний варіант базування на установках А і Б, див. рисунки 6.8 і 6.9, приймаємо базування по внутрішніх циліндричних поверхнях $\varnothing 250$ з упором в нижній торець заготовки. Внутрішні циліндричні поверхні є подвійною напрямною базою, позбавляючи заготовку чотирьох ступенів свободи: двох поступальних і двох обертальних рухів вздовж і навколо осей Y і Z при горизонтальному розташуванні заготовки, а торець заготовки є опорною базою, що позбавляє заготовку ще одного (п'ятого) ступеня свободи – поздовжнього переміщення вздовж осі X. Останню шосту ступінь свободи можна позбавити по отвору кріплення M16-7H в нижньому торці заготовки.

При таких схемах базування технологічні бази поєднуються з вимірювальними та конструкторськими базами, що усуває похибки базування та забезпечує необхідну точність оброблення поверхонь. І все ж таки подальший аналіз запропонованих на рисунках 6.6, 6.7, 6.8 і 6.9 схемах базування віддає перевагу першому варіанту, наведеному на рисунках 6.6 і 6.7.

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		45

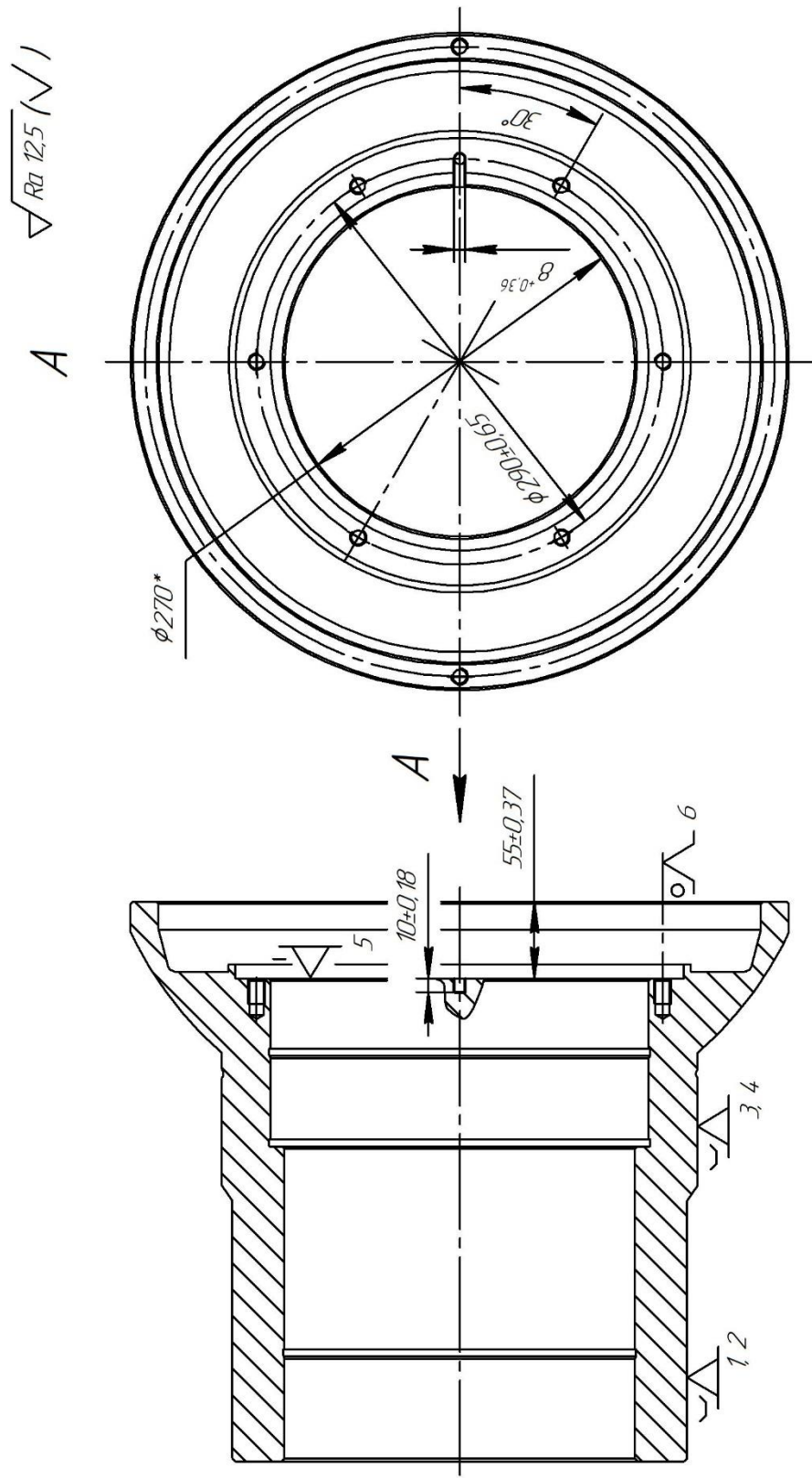


Рисунок 6.6 – Схема базування заготовки на операції 060 горизонтально-розточувальній (установ А)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	ТМ 19510046-00.ПЗ	Арк.
						46

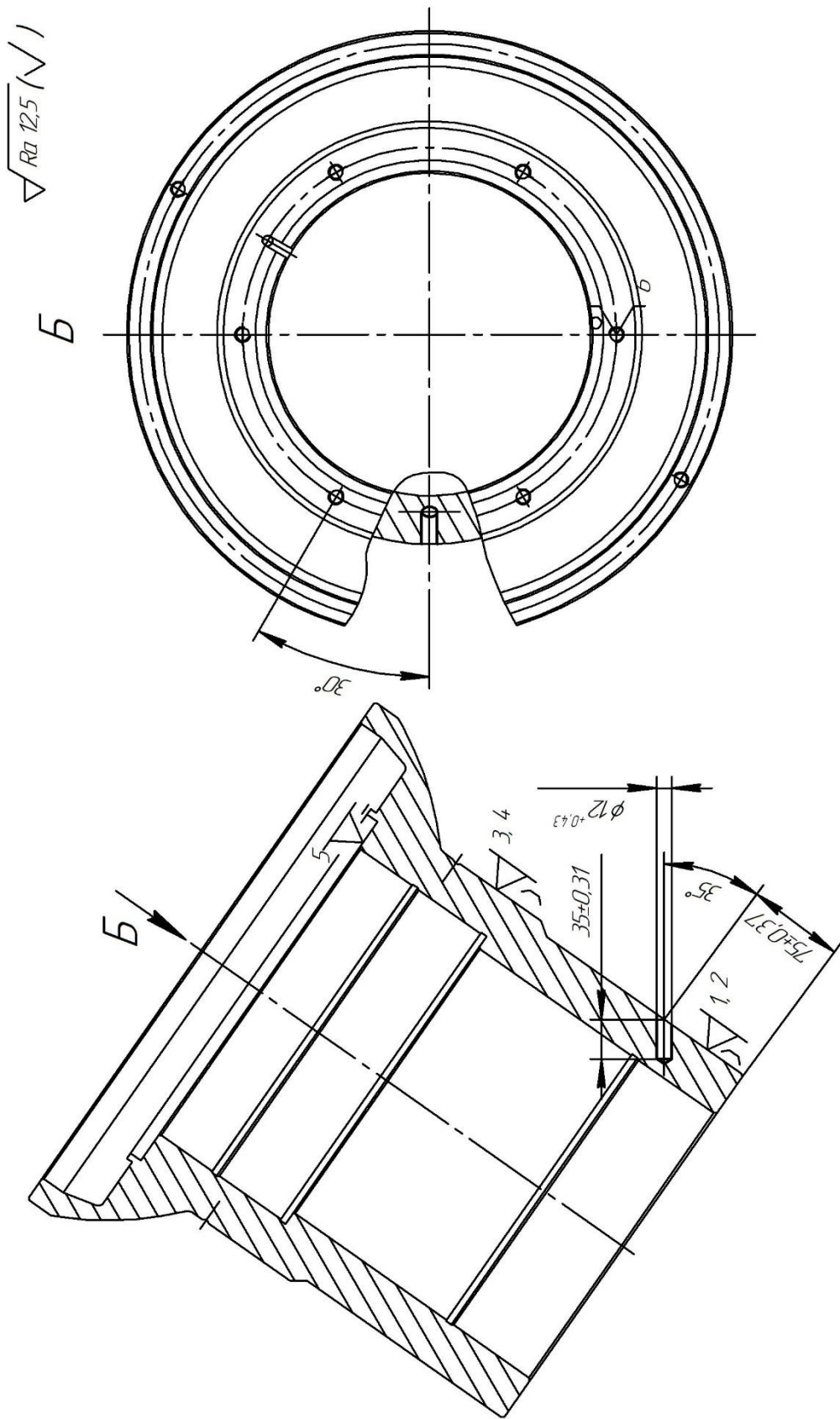


Рисунок 6.7 – Схема базування заготовки на операції 060 горизонтально-розточувальній (установ Б)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ТМ 19510046-00.ПЗ

Арк.

47

При базуванні по зовнішнім циліндричним поверхням їх можна встановлювати призми або патрон. Останній варіант менш прийнятний для консольного розташування заготовки (за умови горизонтального розташування), вага якої для цієї операції досягає 140 кг. До того ж, в цьому випадку як опорна база можна використовувати лише нижній торець заготовки, і тоді на глибину паза буде похибка базування, що дорівнює допускам на розміри, що з'єднують технологічну та вимірювальну бази (установ А):

$$\varepsilon_{6\ 10} = T_{400\text{с}11} + T_{55} = 0,36 + 0,74 = 1,1 \text{ мм},$$

що значно перевищує допуск на глибину паза та є неприпустимим:

$$T_{10} = 0,36 \text{ мм} < \varepsilon_{6\ 10} = 1,1 \text{ мм}.$$

При базуванні в призмах як опорну базу можна використовувати внутрішній, верхній торець заготовки і в цьому випадку похибка базування на глибину паза 10 мм дорівнюватиме нулю. Однак при цьому виникає похибка базування на розмір 75 мм. (установ Б):

$$\varepsilon_{6\ 75} = T_{400\text{с}11} = 0,36 \text{ мм},$$

яка є припустимою:

$$\varepsilon_{6\ 75} = 0,36 \text{ мм} < T_{75} = 0,74 \text{ мм}.$$

По решті оброблюваних розмірів при обох установах похибки базування відсутні і необхідна точність забезпечується.

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		48

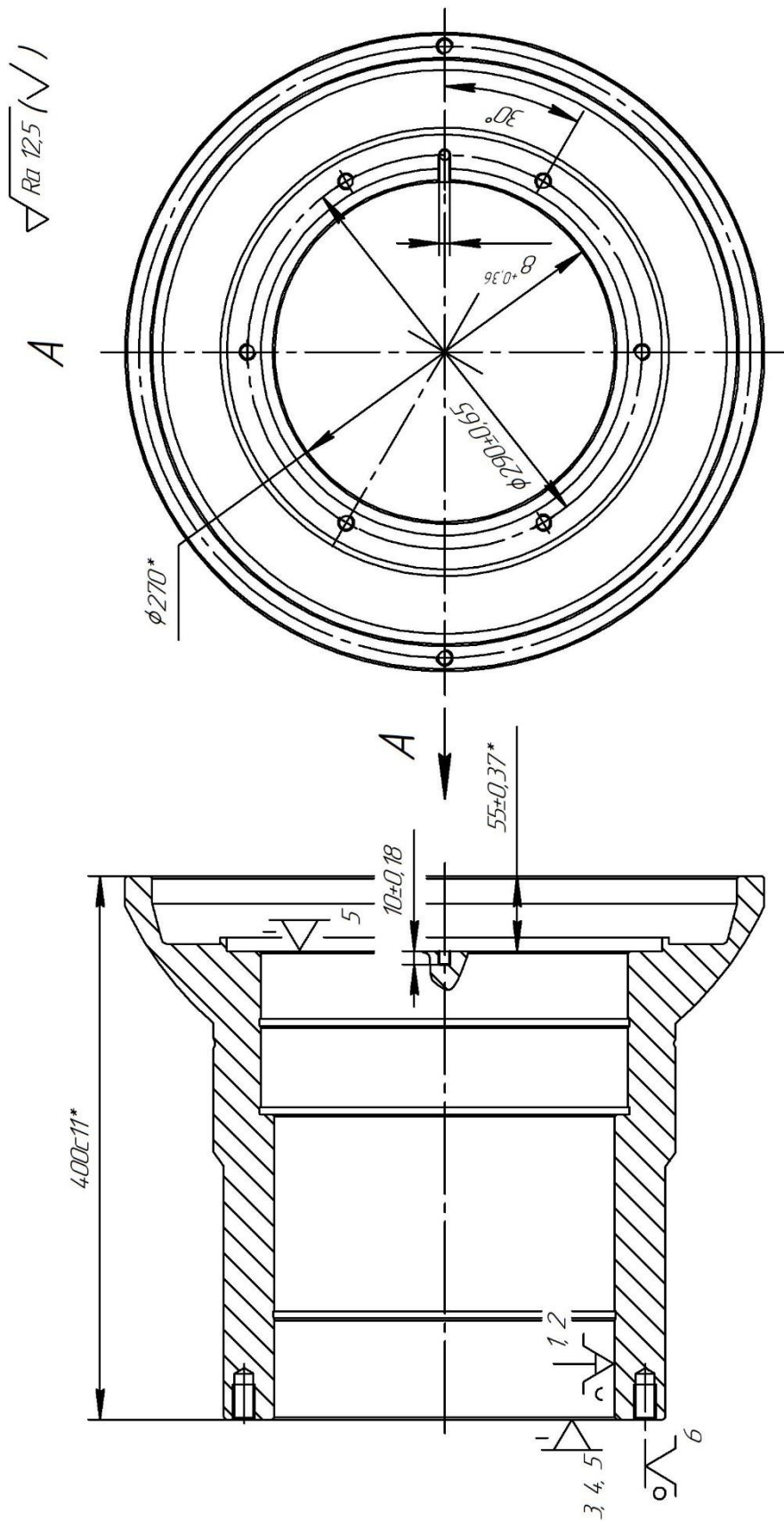


Рисунок 6.8 – Альтернативна схема базування заготовки на операції 060 горизонтально-розточувальній (установ А)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ТМ 19510046-00.ПЗ

Арк.

49

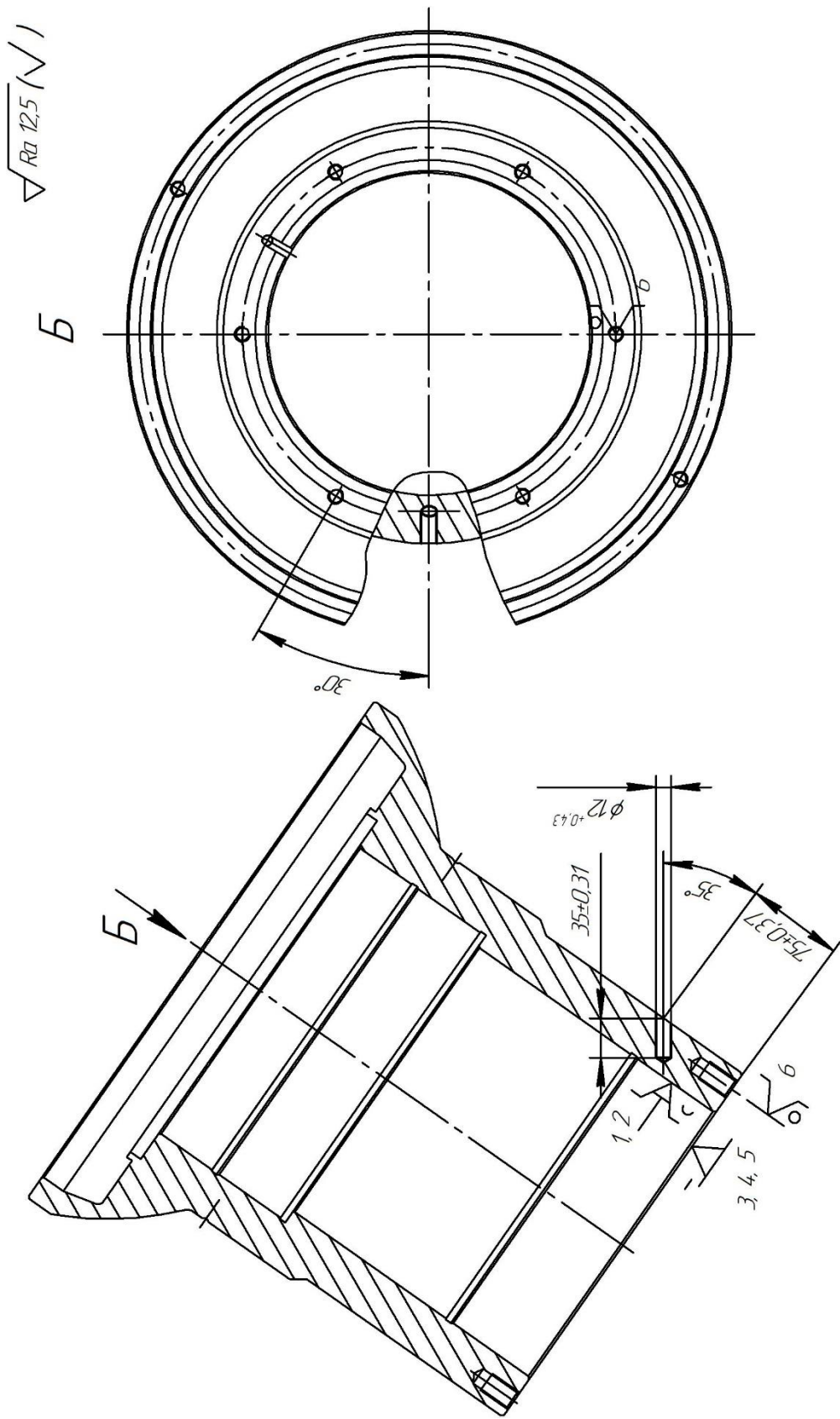


Рисунок 6.9 – Альтернативна схема базування заготовки на операції 060 горизонтально-розточувальній (установ Б)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ТМ 19510046-00.ПЗ

Арк.

50

Під час базування на внутрішніх поверхнях (див. рисунки 6.8 та 6.9) можна використовувати оправку або патрон. Застосування патрона, як і в попередньому випадку небажано, оскільки передбачає консольне закріплення заготовки з великою вагою, і до того ж за таких умов утворюється неприпустима за величиною похибка базування по глибині паза.

Застосування розтискної оправки значно ускладнює конструкцію пристрою із внутрішнім затискачем заготовки. Це призведе до необхідності проектування спеціального, дорогого пристосування та підвищить собівартість оброблення заготовки. До того ж, поверхня $\varnothing 250H7$ коротка за протяжністю, а поверхня $\varnothing 250_{+0,3}^{+0,6}$ має більший діаметр і це ускладнює введення оправки через отвір з меншим діаметром. Не зникає при цьому і похибка базування на глибину паза, що залишається попередньою і неприпустимою за величиною. Тому беремо схеми базування, наведені на рисунках 6.6 та 6.7.

6.4 Обґрунтування вибору металорізального обладнання на технологічну операцію

Операція 050 радіально-свердлильна. У заводському технологічному процесі на цій операції використовується універсальний радіально-свердлильний верстат моделі 2М55.

Аналіз устаткування, що застосовується, показує, що воно відповідає дрібносерійному типу виробництва. Методи обробки визначені з урахуванням форми оброблюваних поверхонь, їх необхідної точності та шорсткості. Водночас використання зазначеного універсального обладнання передбачає досягнення необхідної точності заданих розмірів із застосуванням попереднього розмічування та методу пробних проходів. Все це потребує витрат висококваліфікованої, малопродуктивної ручної праці, збільшує час та собівартість виготовлення деталі. Кваліфікація верстатника – свердлувальник п'ятого розряду.

					ТМ 19510046–00.ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Як альтернативний варіант металорізального обладнання на противагу морально застарілому верстату 2М55 пропонуємо розглянути вертикальний обробний центр з ЧПК моделі V1100 (Leaderway), технічні характеристики якого наведені в [6]. Пропонований верстат забезпечений висувним шпинделем з конічним отвором BT40, робочим столом з габаритами 1350×600 мм, максимальна частота обертання шпинделя – 10 000 об/хв, інструментальний магазин з системою автоматичної заміни на 20 позицій, точність позиціонування за віссю X – 0,015 мм, за віссю Y – 0,015 мм, габарити верстата 3700×6400 мм, потужність електродвигуна приводу головного руху – 15/18,5 кВт.

Запропоноване металорізальне обладнання дозволяє вести високопродуктивну обробку заданих поверхонь на попередньо налаштованих верстатах методом автоматичного отримання необхідної точності розмірів, незалежно від кваліфікації робітників. В результаті відпадає необхідність використання малопродуктивної ручної праці з управління верстатом, усувається ручне розмічування, скорочується тривалість і собівартість механічного оброблення заготовок та ін.

У зв'язку зі зміною назви металорізального обладнання в технологічній документації операція 050 буде називатися комплексною на обробних центрах з ЧПК.

Операція 060 горизонтально-розточувальна. У заводському технологічному процесі на цій операції використовується універсальний горизонтально-розточувальний верстат моделі 2636.

Аналіз устаткування, що застосовується, показує, що воно відповідає дрібносерійному типу виробництва. Методи обробки визначені з урахуванням форми оброблюваних поверхонь, їх необхідної точності та шорсткості. Водночас використання зазначеного універсального обладнання передбачає досягнення необхідної точності заданих розмірів із застосуванням попереднього розмічування та методу пробних проходів. Все це потребує витрат висококваліфікованої,

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		52

малопродуктивної ручної праці, збільшує час та собівартість виготовлення деталі. Кваліфікація верстатника – розточувальник п'ятого розряду. До того ж, габарити обладнання явно завищені для оброблення заготовки з розмірами $\varnothing 470 \times 400$. Діаметр висувного шпинделя 125 мм, розміри столу 1600×1800 мм, габарити верстата 8000×4500 мм, потужність електродвигуна – 19 кВт, категорія ремонтної складності – 30РЕ.

У зв'язку з цим, на основі аналізу застосовуваних методів оброблення поверхонь, а також враховуючи потужність електродвигуна, габарити робочого простору та тип виробництва, як металорізальне обладнання на горизонтально-розточувальній операції 060 пропонується використовувати горизонтальний обробний центр з ЧПК моделі MDH80 [7]. Пропонований верстат забезпечений висувним шпинделем з конічним отвором BT50, розміри столу (палети) 800×800 мм, кількість палет – 2, максимальна частота обертання шпинделя – 8000 об/хв, інструментальний магазин з системою автоматичної заміни на 40 позицій, точність позиціонування за віссю X – 0,021 мм, за віссю Y – 0,018 мм, габарити верстата 3700×6400 мм, потужність електродвигуна приводу головного руху – 25/30 кВт.

Запропоноване металорізальне обладнання дозволяє вести високопродуктивну обробку заданих поверхонь на попередньо налаштованих верстатах методом автоматичного отримання необхідної точності розмірів, незалежно від кваліфікації робітників. В результаті відпадає необхідність використання малопродуктивної ручної праці з управління верстатом, усувається ручне розмічування, скорочується тривалість і собівартість механічного оброблення заготовок та ін.

У зв'язку зі зміною назви металорізального обладнання в технологічній документації операція 060 буде називатися комплексною на обробних центрах з ЧПК.

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		53

6.5 Обґрунтування вибору технологічного оснащення на технологічну операцію

Операція 050 радіально-свердлильна. На основі попереднього аналізу та з урахуванням дрібносерійного типу виробництва в проектованому технологічному процесі приймаємо універсальні безналагоджувальні пристрої (УБП), що є нерозбірними верстатними пристроями багаторазового застосування, які експлуатуються без доопрацювання, див. таблицю 6.2.

Таблиця 6.2 – Технологічна оснастка на радіально-свердлильну операцію 050 [8]

Найменування операції	Верстатний пристрій	Різальний інструмент	Вимірювальний інструмент
1	2	3	4
Радіально-свердлильна	Лещата призматичні самоцентрувальні спеціальні з пневмоприводом	Свердло 035-2300-1275 ОСТ 2И20-1-80, Р6М5 ГОСТ 19265-73; свердло 035-2300-1308 ОСТ 2И20-1-80, Р6М5 ГОСТ 19265-73; свердло 2301-0385 ГОСТ 2092-77, Р6М5 ГОСТ 19265-73; зенківка 2353-0122 ГОСТ 14953-74; Р6М5 ГОСТ 19265-73; мітчик 035-2620-0563 ОСТ 2И52-1-74, Р6М5 ГОСТ 19265-73; мітчик 035-2620-0548 ОСТ 2И52-1-74, Р6М5 ГОСТ 19265-73	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018; штангенциркуль ШЦ-III-320-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018; штангенциркуль ШЦ-III-630-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018; пробка різьбова М12-7Н ГОСТ 17756-72; пробка різьбова М16-7Н ГОСТ 17756-72

При виборі різальних інструментів в першу чергу потрібно враховувати методи оброблення поверхонь (свердління, зенкування тощо) та матеріал заготовки.

За конструктивними параметрами вибиралися універсальні стандартизовані різальні інструменти для верстатів з ЧПК. При цьому для закріплення інструменту

з циліндричними хвостовиками як допоміжний інструмент використовувався цанговий патрон 191113040 ТУ 2-035-986-85, для інструменту з конічним хвостовиком – втулки перехідні 191831 072 ТУ 2-035-978-85, для установки й закріплення машинних мітчиків – мітчикуотримувачі 191221030А/040 ТУ 2-035-975-84 і 191221030А/060 ТУ 2-035-975-84.

В умовах дрібносерійного виробництва при виборі контрольних вимірювальних інструментів перевагу надавали універсальним («шкальним») інструментам, зокрема, штангенциркулям, див. таблицю 6.3 графу 4. Для контролю шорсткості скористаємося зразками шорсткості ГОСТ 9378-93.

Операція 060 горизонтально-розточувальна. На основі попереднього аналізу та з урахуванням дрібносерійного типу виробництва в проектованому технологічному процесі приймаємо універсальні безналагоджувальні пристрої (УБП), що є нерозбірними верстатними пристроями багаторазового застосування, які експлуатуються без доопрацювання, див. таблицю 6.3.

Таблиця 6.3 – Технологічна оснастка на горизонтально-розточувальну операцію 060 [8]

Найменування операції	Верстатний пристрій	Різальний інструмент	Вимірювальний інструмент
1	2	3	4
Горизонтально-розточувальна	Пристрій спеціальний з пневмоприводом	Фреза 2220-0009 ГОСТ 17025-71, Р6М5 ГОСТ 19265-73; свердло 035-2300-1292 ОСТ 2И20-1-80, Р6М5 ГОСТ 19265-73	Штангенцикуль ШЦ-I-125-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018; штангенцикуль ШЦ-III-320-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018

При виборі різальних інструментів в першу чергу потрібно враховувати методи оброблення поверхонь (свердління, фрезерування) та матеріал заготовки.

За конструктивними параметрами вибиралися універсальні стандартизовані різальні інструменти для верстатів з ЧПК. При цьому для закріплення фрези і свердла з циліндричними хвостовиками як допоміжний інструмент використовувалися: цанговий патрон 191113050 ТУ 2-035-986-85.

В умовах дрібносерійного виробництва при виборі контрольно-вимірювальних інструментів перевагу надавали універсальним («шкальним») інструментам, зокрема, штангенциркулям, див. таблицю 6.3 графу 4. Для контролю шорсткості скористаємося зразками шорсткості ГОСТ 9378-93.

6.6 Визначення режимів різання

Виконаємо розрахунок режимів різання на перший перехід установ Б радіально-свердлильної операції 050 розрахунково-аналітичним методом [9].

Вихідні дані до розрахунку.

Оброблювана поверхня: циліндричний отвір (6 отв.) діаметром $\varnothing 13,9$ мм під кріпильну різь М16-7Н.

Матеріал заготовки – сталь 25Л ГОСТ 977-88, з $\sigma_b = 450$ МПа.

Діаметр отвору – $D = 13,9$ мм.

Глибина отвору – $l = 34$ мм.

Шорсткість поверхні R_a – 6,3 мкм.

Металорізальне обладнання – вертикальний обробний центр з ЧПК V1100 (основні характеристики верстата наведені в пункті 6.4).

Характеристика пристосування.

Заготовка закріплюється в спеціальних самоцентрувальних лещатах з призматичними губками, з пневмоприводом, встановлених на робочому столі верстата.

Характеристика інструменту.

Свердло 035-2300-1308 ОСТ 2И20-1-80.

Геометричні параметри різальної частини свердла: $2\phi 1 = 118^\circ$; $\alpha = 11^\circ$.

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		56

Матеріал різальної частини свердла: сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73.

Діаметр свердла: 13,9 мм.

Режими різання на перехід фрезерування визначимо за методикою [9] з використанням пакету математичного аналізу MathCAD. Розрахунковий аркуш та результати розрахунку наведені в додатку Г цієї роботи (див. рисунок Г.1).

Глибина різання: $t = 6,95$ мм.

Подача, допустима умовами свердління: $S_t = 0,28-0,33$ мм/об, для НВ (160–240).

З урахуванням поправочного коефіцієнта, що враховує необхідність формування високої якості поверхні: $S_o = 0,14 - 0,165$ мм/об.

Беремо $S_o = 0,14$ мм/об.

Беремо період стійкості свердла $T = 45$ хв.

Швидкість різання, допустима умовами оброблення становить $V = 23,37$ м/хв.

Розрахункова величина частоти обертання шпинделя верстата становить $n = 535,24$ об/хв.

Беремо фактичну частоту обертання шпинделя $n_\phi = 500$ об/хв.

В результаті фактична швидкість різання становить $V_\phi = 21,8$ м/хв.

Осьова складова сили різання за прийнятих режимів свердління становить $P_o = 1623$ Н, момент різання – $M_{кр} = 9,4$ Н · м.

В результаті потужність різання становить $N_p = 0,48$ кВт, що не перевищує потужності привода головного руху верстата (15 кВт).

Таким чином, розраховані режими різання можна реалізувати на вибраному верстаті V1100.

Тепер визначимо машинний (основний) час оброблення на переході:

$$t_o = L \cdot i / S_{XB},$$

де $L = l_{вр} + l + l_{пер},$

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

L – довжина оброблення, мм;

$l_{вр} = 4$ мм – довжина врізання;

$l = 34$ мм – довжина (глибина) оброблюваного отвору;

$l_{пер} = 0$ мм – довжина перебігу за умови свердління глухого отвору;

$i = 1$ – кількість проходів.

В результаті маємо:

$$S_{XB} = S_o \cdot n = 0,14 \cdot 500 = 70 \text{ мм/хв.}$$

$$L = 4 + 34 = 38 \text{ мм,}$$

$$t_o = 38 \cdot 1 / 70 = 0,542 \text{ хв.}$$

На свердління шести отворів буде витрачено час $T_o = 6 \cdot 0,542 = 3,252$ хв.

Виконаємо розрахунок режимів різання на установ А горизонтально-розточувальної операції 060 розрахунково-аналітичним методом [9].

Вихідні дані до розрахунку.

Оброблювана поверхня: внутрішній паз на торцевій поверхні заготовки.

Матеріал заготовки – сталь 25Л ГОСТ 977-88, з $\sigma_B = 450$ МПа.

Ширина паза – $b = 10$ мм.

Глибина обробки – $h = 10$ мм.

Довжина паза – $l = 14$ мм.

Шорсткість поверхні $Ra = 12,5$ мкм.

Металорізальне обладнання – горизонтальний обробний центр з ЧПК MDH80 (основні характеристики верстата наведені в пункті 6.4).

Характеристика пристосування.

Заготовка закріплюється горизонтально в спеціальному пристрої на призмах з пневмоприводом, встановленому на поворотному квадратному столі (палеті).

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		58

Характеристика інструменту.

Фреза 2220-0009 ГОСТ 17025-71 (кінцева).

Матеріал різальної частини фрези: сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73.

Діаметр фрези: 8 мм; діаметр посадкової поверхні: 8 мм; кількість зубів: 4.

Режими різання на перехід фрезерування визначимо за методикою [9] з використанням пакету математичного аналізу MathCAD. Розрахунковий аркуш та результати розрахунку наведені в додатку Г цієї роботи (див. рисунок Г.2).

Глибина різання для кінцевого фрезерування дорівнює ширині оброблюваного паза: $t = 8,0$ мм.

Подачу на зуб фрези беремо за рекомендаціями [9]: $S_z = 0,02$ мм/зуб.

Подачу на один оберт фрези визначимо з урахуванням кількості зубів фрези:

$$S_o = S_z \cdot Z = 0,02 \cdot 4 = 0,08 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання, допустима умовами оброблення за стійкості різального інструменту на рівні 80 хв. за попередніми розрахунками становить 26,6 м/хв.

Розрахункова величина частоти обертання шпинделя верстата становить $n = 1102,7$ об/хв.

Беремо фактичну частоту обертання шпинделя $n_\phi = 1000$ об/хв.

В результаті фактична швидкість різання становить $V_\phi = 25,1$ м/хв.

Тангенціальна складова сили різання за прийнятих режимів фрезерування становить $P_z = 1403,3$ Н, момент різання – $M_{кр} = 56,1$ Н · м.

В результаті потужність різання становить $N_p = 0,58$ кВт, що не перевищує потужності привода головного руху верстата (25 кВт).

Таким чином, розраховані режими різання можна реалізувати на вибраному верстаті MDH80.

Тепер визначимо машинний (основний) час оброблення на переході:

$$t_o = L / S_{XB},$$

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		59

де $L = l_{вр} + l + l_{пер}$,

L – загальна довжина оброблення, мм;

$l_{вр} = 3$ мм – довжина різання;

$l = 14$ мм – довжина оброблюваної поверхні;

$l_{пер} = 0$ мм – довжина перебігу;

$S_{хв}$ – хвилинна подача фрези.

В результаті маємо:

$$S_{хв} = S_o \cdot n = 0,08 \cdot 1000 = 80 \text{ мм/хв.}$$

$$L = 3 + 14 = 17 \text{ мм,}$$

$$t_o = 17 / 80 = 0,21 \text{ хв.}$$

6.7 Технічне нормування операції

Норму штучно-калькуляційного часу на операцію визначають за формулою [10]:

$$t_{шт.к} = t_{шт} + t_{п.з} / n, \quad (6.1)$$

де $t_{шт}$ – норма штучного часу, хв.;

$t_{п.з}$ – підготовчо-завершальний час, хв.;

n – кількість деталей в партії запуску, шт.

Штучний час визначають за формулою [10]:

$$t_{шт} = t_o + t_d + t_{обс} + t_{вдп}, \quad (6.2)$$

де t_o – основний час на операцію, хв.;

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

t_d – допоміжний час на операцію, хв.;

$t_{обс}$ – час на технічне та організаційне обслуговування робочого місця, хв.;

$t_{вдп}$ – час на відпочинок та особисті потреби робочого, хв.

Допоміжний час на операцію визначають за формулою [10]:

$$t_d = t_{уст} + t_{пр} + t_{вим}, \quad (6.3)$$

де $t_{уст}$ – час на встановлення, закріплення та зняття заготовки з верстата, хв.;

$t_{пр}$ – час, що витрачається на керування верстатом, хв.;

$t_{вим}$ – час на контрольні вимірювання, хв.

Час на обслуговування робочого місця та відпочинок робочого визначають за формулою [10]:

$$t_{обс} + t_{вдп} = (t_o + t_d) \cdot (\alpha + \beta) / 100, \quad (6.4)$$

де α , β – відповідно, норми часу на обслуговування робочого місця та відпочинок робітника у % від оперативного часу;

Зробимо розрахунок штучно-калькуляційного часу на *радіально-свердлильну операцію 050*.

В п. 6.6 визначено основний час на перший перехід установка Б операції №050: $t_{o1} = 3,25$ хв.

Основний час для інших переходів аналізованої операції визначаємо з урахуванням режимів різання, визначених табличним методом (див. таблицю 6.4).

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 6.4 – Режими різання на операцію 050 радіально-свердлильну

№ пере- хода	Зміст переходу	Елементи режимів різання						
		D _{обр} , мм	L, мм	i	t, мм	S _п , мм/об	n, об/хв	V, м/хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9
А.1	1. Свердлити 6 отв. Ø10,2×26.	10,2;	26;	6;	5,1;	0,1;	500;	16;
	2. Свердлити 2 отв. Ø10,2×22	10,2	22	2	5,1	0,1	500	16
А.2	Зенкувати у 8 отв. фаски 1,6×45°	13,4	1,6	8	1,6	0,1	500	21
А.3	1. Нарізати різь у 6 отв. М12-7Н×18.	12;	18;	6;	-	1,75	180;	6,8;
	2. Нарізати різь у 2 отв.М12-7Н×15	12	15	2	-	1,75	180	6,8
А.4	1. Свердлити отв. Ø8×140	8	140	1×4	4	0,1	500	12,6
Б.2	1. Зенкувати у 6 отв. Ø13,9 фаски 1,6×45°	17,1	1,6	6	1,6	0,1	500	26,9
Б.3	1. Нарізати різь у 6 отв. М16-7Н	16	26	6	-	2,0	180	9

В такому разі основний час за переходами операції становитиме:

$$t_{0A.1} = 4,64 \text{ хв}; \quad t_{0A.2} = 0,9 \text{ хв}; \quad t_{0A.3} = 0,54 \text{ хв}; \quad t_{0A.4} = 11,52 \text{ хв};$$

$$t_{0B.2} = 0,67 \text{ хв}; \quad t_{0B.3} = 0,5 \text{ хв}.$$

Отже, основний час на операцію становить $t_0 = 22,03$ хв.

Допоміжний час на операцію визначимо за формулою (6.3):

$$t_{уст} = 3,5 \cdot (1+0,8) = 6,3 \text{ хв};$$

$$t_{пр} = 0,11 \cdot 14 + 0,05 \cdot 14 + 0,1 \cdot 14 + 0,28 = 2,66 \text{ хв};$$

$$t_{вим} = 0,45 \cdot 14 + 0,12 \cdot 15 + 0,1 \cdot 14 + 0,13 = 9,63 \text{ хв};$$

$$t_d = 6,3 + 2,66 + 9,63 = 18,59 \text{ хв}.$$

									Арк.
									62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата					

ТМ 19510046–00.ПЗ

Час на обслуговування робочого місця на особисті потреби визначимо за формулою (6.4):

$$t_{\text{обс}} + t_{\text{вдп}} = (22,03 + 18,59) \cdot (4 + 4) / 100 = 3,25 \text{ хв.}$$

Отже штучний час на операцію становить

$$t_{\text{шт}} = 22,03 + 18,59 + 3,25 = 43,87 \text{ хв.}$$

З урахуванням підготовчо-завершального часу на операцію $t_{\text{п.з}} = 21$ хв, штучно-калькуляційний час на операцію становить

$$t_{\text{шт.к}} = 43,87 + 21 / 24 = 44,75 \text{ хв.}$$

Зробимо розрахунок штучно-калькуляційного часу на *горизонтально-розточувальну операцію 060*.

В пункті 6.6 визначено основний час для першого переходу операції 060:
 $t_{0A1} = 0,21$ хв.

Тривалість обробки заготовки на установі Б за основним часом визначаємо для наступних переходів та режимів свердління отвору $\varnothing 12$:

1-й перехід: фрезерування поверхні під свердління отвору ($t = 8$ мм; $S_{\text{хв}} = 120$ мм/хв; $n = 1000$ об/хв; $V = 25,1$ м/хв):

$$t_{0B1} = (3 + 8) / 120 = 0,09 \text{ хв;}$$

2-й перехід: свердління отвору $\varnothing 12$ ($t = 6$ мм; $S_0 = 0,2$ мм/об; $n = 400$ об/хв; $V = 15,1$ м/хв);

$$t_{0B2} = (5 + 35 + 4) / (0,2 \cdot 400) = 0,55 \text{ хв.}$$

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		63

У результаті загальний основний час на горизонтально-розточувальну операцію дорівнює:

$$t_o = 0,21+0,09+0,55 = 0,85 \text{ хв.}$$

Допоміжний час на операцію визначимо за формулою (6.3):

$$t_d = 2,7+1,1+0,14+0,04+0,4+0,2+0,4+0,1+0,13+0,1+0,2+0,1=5,61 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця на особисті потреби визначимо за формулою (6.4):

$$t_{обс} + t_{вдп} = (0,85 + 5,61) \cdot (4 + 4) / 100 = 0,52 \text{ хв.}$$

В результаті штучний час на операцію становить

$$t_{шт} = 0,85 + 5,61 + 0,52 = 6,98 \text{ хв.}$$

Підготовчо-завершальний час на операцію становить $t_{п.з} = 21$ хв.

Штучно-калькуляційний час на операцію становить

$$t_{шт.к} = 6,98 + 21 / 24 = 7,86 \text{ хв.}$$

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

7 ПРОЄКТУВАННЯ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ

Спроекуємо верстатний пристрій для обробки заготовки на комплексній на обробному центрі з ЧПК операції 050 (радіально-свердлильній операції 050). На операції проводиться свердління отворів, зенкування фасок і нарізання різьблень на торцях заготовки з двох установ (див. п. 6.3 цієї роботи).

В базовому технологічному процесі заготовку оброблюють на радіально-свердлильному верстаті моделі 2М55, що є морально застарілим. Водночас операція характеризується низькою продуктивністю та потребує задіяння висококваліфікованих робочих. В пропонованому технологічному процесі для оброблення заготовки на операції використовується вертикальний обробний центр з ЧПК моделі V1100. Застосування універсального безналагоджувального пристрою з механізованим приводом дозволить підвищити ефективність використання верстата з ЧПК, знизити розряд верстатника на цій операції до третього розряду, знизити трудомісткість оброблення та підвищить стабільність параметрів точності операції.

Уточнимо цілі технологічної операції, визначивши точнісні параметри оброблюваних поверхонь.

Точність діаметральних розмірів отворів забезпечується по IT13–14, оскільки найближчі стандартні допуски рівні, відповідно 270 мкм і 430 мкм. По IT14 заданий лінійний розмір на глибину отвору $T_{26} = 520$ мкм, а також міжосьова відстань $T_{\varnothing 450} = 1550$ мкм.

Точність форми оброблюваних поверхонь на кресленні деталі не зазначено і ми беремо її в межах відповідних допусків на операційні розміри. Зокрема, обговорюємо відхилення від циліндричності отворів, допуск для нормальної відносної геометричної точності А дорівнює 30 % від допуску на діаметр отворів, тобто: $T_{f\varphi} = 0,3 \cdot 360 = 108$ мкм, що відповідає 12 ступеню точності з найближчим стандартним меншим допуском $T_{f\varphi} = 80$ мкм.

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		65

Очевидно, що мінімальна вага заготовки, що перешкоджає її перекиданню, становить

$$G_{\text{заг}} = \frac{P_o \cdot (r_1 - r_2)}{r_2} = \frac{941 \cdot (225 - 162,5)}{162,5} = 362 \text{ Н.}$$

Вага заготовки є набагато більшою (1310 Н): заготовка не перекинеться навіть без закріплення.

В результаті, величину сумарного зусилля закріплення визначимо з умови непровертання заготовки на опорних поверхнях призм від тангенціальної складової сили різання, що визначається з крутного моменту, що виникає під час свердління і з урахуванням ваги заготовки:

$$M_{\text{тр}} \geq M_{\text{кр}},$$

або

$$M_{\text{тр}} = K_{\text{зап}} \cdot M_{\text{кр}},$$

де $M_{\text{тр}}$ – момент тертя, утворений силами закріплення та вагою заготовки;

$M_{\text{кр}}$ – крутний момент від сил різання;

$K_{\text{зап}}$ – коефіцієнт запасу.

Як видно з малюнка 7.2, недоліком прийнятого способу врівноваження є високий рівень енергетичних витрат закріплення. Однак конструктивні особливості деталі є такими, що до цієї операції вона ще не має елементів, здатних сприймати момент різання (ще немає інших отворів і пазів).

В таблиці 7.2 представлено структуру зв'язків, що виникають при закріпленні заготовки. Додаток сил закріплення виключає зазор і перетворює зв'язки $x, x', y, y', \omega_x, \omega_x', \omega_y, \omega_y'$ з неповних в повні, а також утворює три недостатні до комплекта (12) зв'язки – z, ω_z, ω'_z .

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 7.2 – Структура односторонніх зв'язків за умови закріплення заготовки

Індекс зв'язку	x	x'	y	y'	z	z'	ω_x	ω'_x	ω_y	ω'_y	ω_z	ω'_z
Спо- сіб реалі- зації	Реакція	R	R	R	R	–	R	R	R	R	–	–
	Сила закріплення	P	P	P	P	–	–	P	P	P	–	–
	Сила тертя	–	–	–	–	F(P)	–	–	–	–	F(P)	F(P)

Недоліком такої схеми є значний енергетичний рівень, оскільки врівноваження здійснюється непрямим методом – силами тертя. Однак цей недолік компенсується простотою силоутворюючого механізму – самоцентрувальних призм з пневматичним приводом.

Момент тертя визначимо за формулою

$$M_{\text{тр}} = F_{\text{тр}1} \cdot r_2 + F_{\text{тр}2} \cdot r_2^*,$$

де $F_{\text{тр}1}$ – сила тертя від сил закріплення;

r_2 – радіус прикладання сили тертя;

$F_{\text{тр}2}$ – сила тертя від ваги заготовки;

r_2^* – середній радіус прикладання ваги заготовки;

В свою чергу:

$$F_{\text{тр}1} = N \cdot f,$$

де N – нормальна складова сили закріплення;

f – коефіцієнт тертя.

$$N = P \cdot \sin(\alpha/2),$$

де P – сила закріплення;
 α – кут призми.

$$F_{\text{тр2}} = G_{\text{заг}} \cdot f,$$

де $G_{\text{заг}}$ – вес заготовки.
В результаті маємо

$$M_{\text{тр}} = P \cdot r_2 \cdot f \cdot \sin(\alpha/2) + G_{\text{заг}} \cdot f \cdot r_2^*.$$

З іншого боку:

$$M_{\text{кр}} = P_z \cdot r_1,$$

де P_z – тангенціальна складова сили різання;
 r_1 – максимальний радіус прикладання сили різання.

Виходячи з цього рівняння для розрахунку сили закріплення матиме такий вигляд:

$$P = \frac{K_{\text{зап}} \cdot P_z \cdot r_1 - G_{\text{заг}} \cdot f \cdot r_2^*}{r_2 \cdot f \cdot \sin(\alpha / 2)}.$$

Коефіцієнт запасу визначають як добуток частинних коефіцієнтів, що враховують гарантований запас, збільшення сил різання за умови притуплення різального інструменту, нерівномірність припуску на оброблення, переривчасті умови різання, тип приводу, зручність в обслуговуванні приводу, наявність моментів, що намагаються повернути заготовку на опорах: $K_{\text{зап}} = 2,6$.

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		71

З урахуванням моменту різання $M_p = 3,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$, визначеного для умов свердління отфору діаметром 10,2 мм, тангенціальна складова сили різання $P_z = 759 \text{ Н}$.

Радіуси беремо з конструктивних міркувань: $r_1 = 225 \text{ мм}$, $r_2 = 162,5 \text{ мм}$, $r_2^* = 143,75 \text{ мм}$.

Коефіцієнт тертя $f = 0,3$ [11], кут $\alpha = 90^\circ$.

В результаті маємо

$$P = \frac{2,6 \cdot 759 \cdot 225 - 1310 \cdot 0,3 \cdot 143,75}{162,5 \cdot 0,3 \cdot \sin(90/2)} = 11244 \text{ Н.}$$

Пропонований силовий розрахунок враховує найгірші умови різання, коли можлива поломка свердла і в розрахунку братиме крутний момент від сили P_z помножений на радіус щодо центру розвороту заготовки r_1 . Якщо ж взяти крутний момент, для нормальних умов свердління $M_{кр}$, то заготовку не потрібно закріплювати взагалі, оскільки її вага дуже велика і вона залишатиметься нерухомою:

$$P = \frac{K_{зан} \cdot M_{кр} - G_{заг} \cdot f \cdot r_2^*}{r_2 \cdot f \cdot \sin(\alpha/2)} = \frac{2,6 \cdot 3,9 - 1310 \cdot 0,3 \cdot 0,14375}{0,1625 \cdot 0,3 \cdot \sin(90/2)} = -1345 \text{ Н,}$$

де радіуси задані в метрах.

Як бачимо, чисельник негативний і сила P – негативна, що говорить про непотрібність закріплення.

Зусилля на штоку пневмоприводу визначимо з рівняння, з урахуванням характеристик важільного передавального пристрою, див. рисунок 7.3:

$$Q = P \cdot l_1 / l_2,$$

									Арк.
									72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата					

де l_1, l_2 – плечі важеля передавального пристрою лещат.

При розмірах плечей $l_1 = 78$ мм, $l_2 = 81$ мм, маємо:

$$Q = 11244 \cdot 78 / 81 = 10828 \text{ Н.}$$

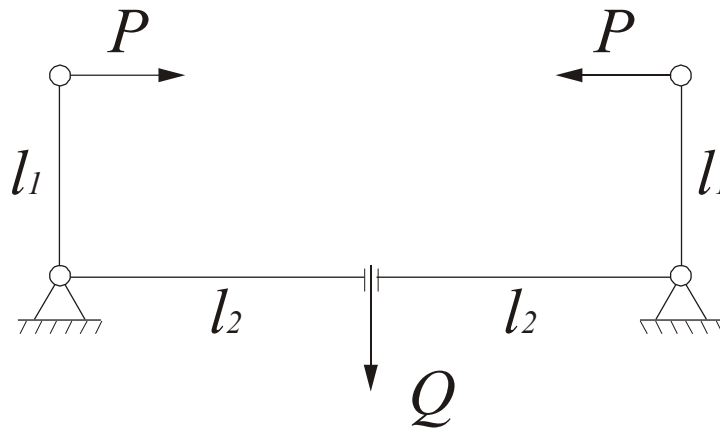


Рисунок 7.3 – Схема дії сил на важелях лещат

Діаметр пневмоциліндра визначимо за формулою [11]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot \left(\frac{Q}{\eta} + n \cdot T_k \right)}{\pi \cdot p} + d^2},$$

де T_k – сила тертя ущільнювального кільця поршня або штоку, $T_k = 0,5$ кгс [11];

n – кількість ущільнювальних кілець на поршні та штоку, $n = 3$;

p – тиск в пневмережі, $p = 4$ кгс/см²;

η – коефіцієнт корисної дії пневмопривода, $\eta = 0,8$;

d – діаметр штока пневмоциліндра; $d = 6$ см.

В результаті получим:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot \left(\frac{10828}{0,8} + 3 \cdot 0,5 \right)}{\pi \cdot 4} + 6^2} = 21,6 \text{ см.}$$

										Арк.
										73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата						

Приймаємо найближчий більший діаметр пневмоциліндра зі стандартного ряду: $D = 250$ мм [11].

Тепер виконаємо розрахунки пристрою на точність. До розрахункових параметрів, що більшою мірою вплинуть на досягнення заданих допусків заготовки, буде відхилення від перпендикулярності робочих поверхонь призми щодо основи корпусу пристрою. Цей параметр є однорідним з похибкою, обумовленою в деталі на взаємне розташування поверхонь, а саме, – допуском на відхилення від перпендикулярності осей оброблюваних поверхонь щодо торця заготовки: $T_{\perp} = 800$ мкм. Тоді допустиму похибку пристрою визначимо за формулою

$$E_{\text{пр}} = T - K \sqrt{(K_1 \cdot E_{\sigma})^2 + E_z^2 + E_y^2 + E_{\text{зн}}^2 + E_{\text{п}}^2 + (K_2 \cdot \omega)^2},$$

де $K = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує можливе відхилення від нормального закону розподілення окремих складових рівняння;

$K_1 = 1,0$ – беремо, коли виконується умова $E_{\sigma} \neq 0$;

E_{σ} – похибка базування, беремо $E_{\sigma} = 0$ мкм за умови самоцентрування призматичних губок лещат;

E_z – похибка закріплення, беремо $E_z = 10$ мкм за умови самоврівноваження сил закріплення;

E_y – похибка установки пристрою на столі верстата, $E_y = 50$ мкм;

$E_{\text{зн}}$ – похибка від зношення установчих елементів пристрою, $E_{\text{зн}} = 20$ мкм;

$E_{\text{п}}$ – похибка установки й прекосу інструмента на верстаті, $E_{\text{п}} = 20$ мкм;

$K_2 = 0,6$ – коефіцієнт, що враховує ймовірність появи похибки оброблення;

$\omega = 200$ мкм [4] – середня економічна точність оброблення поверхні.

За таких умов маємо

$$E_{\text{пр}} \leq 800 - 1,2 \sqrt{(0 \cdot 0)^2 + 10^2 + 50^2 + 20^2 + 20^2 + (0,6 \cdot 200)^2} = 596 \text{ мкм.}$$

									Арк.
									74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата					

ТМ 19510046–00.ПЗ

З урахуванням отриманих даних приймаємо допуск відхилення від перпендикулярності не більше 590 мкм. Похибка у зазначених межах виникає як результат складання частинних похибок взаємного розташування поверхонь. Тому отриманий допуск розділимо по елементах, що його формують, наступним чином:

- відхилення від перпендикулярності робочих поверхонь призм щодо їх напрямних в межах 250 мкм;
- відхилення від паралельності поверхонь направляючих призм щодо основи пристосування в межах 340 мкм.

Опис будови та принципу дії пристрою.

Спроектований пристрій складається з основи 10, див. креслення пристрою, у верхній частині якого з можливістю провороту навколо своєї осі встановлений корпус 6 лещат. Таким чином, лещата – поворотні, що підвищує їх універсальність. В середині корпусу 6 назустріч один одному на одній осі встановлено два гвинти 1 і 2 з правим і лівим різьбленнями, відповідно, і можливістю осьових переміщень. На зазначених гвинтах встановлені спеціальні гайки 4, на яких, у свою чергу, встановлені рухомі губки 5. Останні спираються і ковзають по напрямних корпусу 6, розміщеним у верхній частині, для чого до нижньої площини губок за допомогою болтів 21 прикріплені планки 12, що охоплюють зазначені напрямні. На губках 5 за допомогою штифтів 31 і гвинтів 26 закріплені призми 14. У нижній частині основи 10 лещат виконана центральна розточка, що утворює пневмоциліндр, що закривається за допомогою гвинтів 25 кришкою 8. У середині циліндра встановлений поршень 13 з ущільнювальними кільцями 27. За одне ціле з поршнем виконаний шток, який ущільнюється манжетною 29. У верхній частині штока виконана розточка, в яку входять плечі двох важелів 16 і 17, встановлені на самостійних осях 11. Протилежні плечі важелів 16 і 17 закінчуються «вилками», які входять в циліндричні кільцеві канавки гвинтів 1 і 2, повідомляючи останнім одночасні осьові переміщення і забезпечуючи можливість самоцентрування заготовок, що закріплюються. По

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

нижній площині основи 10 з допомогою гвинтів 24 встановлено дві призматичні шпонки 30, за допомогою яких спроектований пристрій базується на T-подібних пазах робочого стола верстата моделі V1100.

Пристрій працює в такий спосіб.

Оброблювана заготовка встановлюється нижнім торцем на верхню робочу площину корпусу 6 лещат циліндричною поверхнею $\varnothing 325h12$ між робочим площинами призм 14. Потім у верхню порожнину пневмоциліндра через штуцер подається повітря, що переміщає поршень 13 зі штоком і плечами важелів. В результаті, важелі 16 і 17 провертаються на своїх осях 11, зводячи назустріч один одному «вилко»-подібні частини своїх протилежних плечей. При переміщенні останніх назустріч один до одного сходяться і два ходові гвинти 1 і 2, переміщуючи до центру лещат по напрямних корпусу 6 губки 5 з призмами 14. Таким чином, призмами 14 проводиться закріплення оброблюваної заготовки. Після обробки двох отворів у заготовці у зворотній послідовності відбувається її розкріплення. При цьому краном управління подача повітря переадресується в нижню порожнину пневмоциліндра, в результаті чого поршень 13 зі штоком і важелями 16 і 17 переміщуються вгору, розводячи своїми «вилко»-подібними частинами плечей ходові гвинти 1 і 2 з губками 5 і призмами 14, звільнюючи заготовку від закріплення. Спроектовані лещата є універсальним безналагоджувальним верстатним пристроєм, що дозволяє проводити закріплення заготовок з різними посадковими діаметрами. З цією метою лещата попередньо налаштовують на посадковий розмір за рахунок ручного розведення ходових гвинтів 1 і 2 з губками 5 і призмами 14. Для цього на кінцях гвинтів 1 і 2 виконані спеціальні квадрати під ключ. Обертаючи ключем гвинти 1 і 2, останні переміщують уздовж своїх осей гайки 4 з губками 5 і призмами 14, виробляючи попереднє «зведення-розведення» призм 14 на необхідний посадковий діаметр заготовки.

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВКИ

В роботі виконано:

1. Аналіз службового призначення виробу (корпус підшипників 1.1630-20.20-02), вузла та машини, до складу яких він входить.
2. Аналіз технічних вимог на виготовлення виробу.
3. Визначено тип виробництва, в умовах якого планується виготовлення виробу – дрібносерійний.
4. Проаналізовано конструкцію деталі на технологічність: оцінка технологічності – задовільно.
5. Визначено раціональний спосіб одержання заготовки (лиття у піщано-глинисті форми), табличним методом визначені припуски та розміри заготовки, сформульовані технічні вимоги на її виготовлення. Розрахунково-аналітичним методом визначено операційні припуски та розміри на оброблення поверхні циліндричного отвору діаметром 250H7.
6. Виконано детальний аналіз радіально-свердлильної 050 та горизонтально-розточувальної 060 технологічних операцій виготовлення виробу: обґрунтовано вибір схеми базування заготовки, вибір моделі металорізального верстата, вибір технологічної оснастки (верстатних пристроїв, різального та контрольовано-вимірювального інструменту), визначені режими різання та технічні норми часу на операцію. У зв'язку зі зміною металорізального устаткування операції були перейменовані на «комплексні».
7. Спроектовано спеціальний верстатний пристрій, лещата, для установки заготовки на комплексній на обробному центрі з ЧПК операції 050.
8. В додатку Д розглянуто питання охорони праці.
9. В графічній частині розроблені креслення заготовки, маршрутний технологічний процес виготовлення деталі з детальним описом двох зазначених технологічних операцій, налагодження на операцію 050 комплексну на обробному центрі з ЧПК.

					ТМ 19510046–00.ПЗ	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Ю. Є. Паливода, А. Є. Дячун, Р. Я. Лещук. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.

11. **Петров, О. В.** Технологічна оснастка : навчальний посібник / О. В. Петров, С. І. Сухоруков. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 123 с.

					<i>ТМ 19510046–00.ПЗ</i>	Арк.
						79
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		