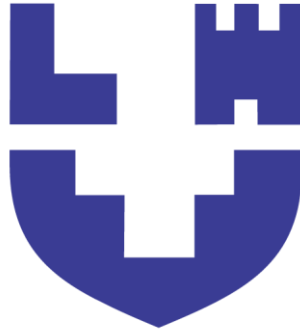


**Міністерство освіти та науки України
Луцький національний технічний університет**



**ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ МЕХАНІЧНИХ КОМПОНЕНТІВ
РОБОТОТЕХНІКИ**

Методичні вказівки до практичних занять для здобувачів першого
(бакалаврського) рівня вищої освіти
ОП «Металообробне обладнання та роботизовані виробничі системи»
галузі знань 13 Механічна інженерія
спеціальності 131 Прикладна механіка
денної та заочної форм навчання

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозитарій ЛНТУ

Директор бібліотеки _____ Н.П. Поліщук

Рекомендовано до видання вченою радою факультету транспорту та механічної інженерії ЛНТУ, протокол № _____ від « ____ » _____ 2025 року.

Голова вченої ради факультету транспорту та механічної інженерії _____ І.С. Мурований

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри прикладної механіки та мехатроніки ЛНТУ, протокол № _____ від « ____ » _____ 2025 року.

Завідувач кафедри прикладної механіки та мехатроніки _____ Р.Г. Редько

Укладач: _____ Т.Н. Гальчук, кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної механіки та мехатроніки ЛНТУ

Рецензент: _____ О.Ю. Повстяной, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ЛНТУ

Відповідальний за випуск: _____ Р.Г. Редько, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри прикладної механіки та мехатроніки ЛНТУ

Технологія виготовлення механічних компонентів робототехніки [Текст]:
Т38 Методичні вказівки до практичних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ОП «Металообробне обладнання та роботизовані виробничі системи» галузі знань 13 Механічна інженерія спеціальності 131 Прикладна механіка денної та заочної форм навчання / уклад. Т.Н. Гальчук. – Луцьк: ЛНТУ, 2025. – 44 с.

У виданні подано теоретичний матеріал за тематикою планування практичних занять з дисципліни „Технологія виготовлення механічних компонентів робототехніки», методику розрахунку технологічних задач, наведено приклади, довідникові дані.

Призначене для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка ОП «Металообробне обладнання та роботизовані виробничі системи» денної та заочної форм навчання.

ЗМІСТ

1.	Практичне заняття 1	4
	Тема: Будова техпроцесів та операцій	
	Тема 1: Службове призначення і характеристика об'єкту виробництва, аналіз технічних умов на деталь	4
	Тема 2: Аналіз технологічності конструкції деталі	6
2.	Практичне заняття 2	9
	Тема: Проектування одиничних техпроцесів виготовлення механічних компонентів робототехніки	
	Тема 1: Вибір методу отримання заготовки	9
3.	Практичне заняття 3	13
	Тема: Техніко-економічне обґрунтування технологічного процесу	
	Тема 1: Укрупнене нормування технологічного процесу	13
	Тема 2: Визначення типу виробництва	16
	Тема 3: Визначення організаційної форми виробництва	18
	Тема 4: Визначення технологічної собівартості виготовлення деталі	19
4.	Практичне заняття 4	23
	Тема: Детальна розробка оптимального варіанта техпроцесу	
	Тема 1: Вибір і обґрунтування технологічних баз	23
	Тема 2: Вибір методу обробки поверхонь	27
5.	Практичне заняття 5	29
	Тема: Технологія виготовлення станин, рам, корпусних деталей та валів.	
	Тема 1: Розрахунок припусків	29
6.	Практичне заняття 6	38
	Тема: Технологія виготовлення деталей зубчатих передач, важелів, вилок, шатунів	
	Тема 1: Розрахунок режимів різання	38
	Тема 2: Нормування технологічного процесу	40
	Список посилань	42

Практичне заняття 1

Тема: Будова техпроцесів та операцій

Тема 1: Службове призначення і характеристика об'єкту виробництва, аналіз технічних умов на деталь

На основі вивчення креслення деталі, умов її роботи у вузлі необхідно дати опис призначення деталі в механізмі, класифікувати її поверхні, визначити вплив точності виготовлення деталі та її шорсткості на роботу машини. Якщо конкретне призначення деталі невідомо, то необхідно зробити класифікацію її поверхонь, описати призначення кожної з них [1-5].

Виходячи з вищевказаного, потрібно встановити доцільність наведених вимог до деталі по точності та якості. У разі відсутності окремих даних на робочому кресленні деталі, наприклад, маси, розмірів, допусків, їх необхідно визначити самостійно. Також, якщо відсутні на кресленні деталі технічні вимоги, вони розробляються з урахуванням службового призначення деталей і умов їх виготовлення.

Аналіз технологічних вимог до деталі рекомендується проводити у такій послідовності [5]:

- ◆ формулюються технічні вимоги, вказуються цифрові дані допустимих відхилень;
- ◆ вказуються можливі наслідки невиконання сформульованих технічних вимог;
- ◆ виконується ескізна схема контролю сформульованої технічної вимоги за допомогою універсальних чи спеціальних засобів контролю, наводиться схема і методика контролю;
- ◆ даються рекомендації щодо методу отримання заготовки із вказаного у завданні матеріалу.

Приклад виконання

Заготовка деталі “корпус підшипника” (рис.1) виготовляється з матеріалу Ст 35Л ДСТУ 7809:2015 литвом, тому конфігурація зовнішнього і внутрішнього контуру поверхонь, не викликає значних труднощів при отриманні заготовки, хоча при цьому застосовуються стержні, які будуть формувати, як внутрішні поверхні, так і кишені. Хімічний склад Ст 35Л представлено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад Сталі 35Л ДСТУ 7809:2015

C, %	Mn, %	Si, %	S, %
0,15 ... 0,55	0,3 ... 0,9	0,2 ... 0,4	0,045 ... 0,6

Обробка внутрішніх отворів $\varnothing 90^{+0,8}$ повинна бути виконаною в границях заданого відхилення з точністю до 0,8мм. Єдиним способом

$\sqrt{\quad} (N)$ 

Деталь – “корпус підшипника” служить для монтажу тіл обертання типу пів і має форму ступінчатого тіла обертання з такими розмірами:

- максимальна довжина (L) = 50 мм;
- максимальна ширина (H) = 136 мм;
- максимальний зовнішній діаметр (D_{30B}) = 110 мм;
- максимальний внутрішній діаметр (D_{BH}) = 90 мм.

5

Таблиця 2 – Аналіз технічних умов

Технічна умова, або вимога	Методи виконання	Метод контролю
Отвір $\varnothing 90^{(+0,11)}$, $R_a 6,3$	Розточування чистове	Штангенциркуль 8700-4025-03
Зовнішня поверхня $\varnothing 100 h14^{(-0,87)}$, $R_a 12,5$	Точіння напівчистове	Шаблон 8153-4142-06
Сфера $\varnothing 85^{(+0,035)}$, $R_a 6,3$	Розточування чистове	Шаблон 8153-4142-06
Канавка $\varnothing 93,5^{(+0,36)}$, $R_a 12,5$	Розточування чистове	Штангенциркуль 8700-4025-03
Канавки $R 35^{(+0,35)}$, $R_a 12,5$	Фрезерування чистове	Шаблон (R 35) 8381-4218
4 отвори $\varnothing 14^{(+0,4)}$, $R_a 12,5$	Свердління	Калібр 8150-5078
Канавка $R 2$, $R_a 6,3$	Розточування чистове	Шаблон 8153-4142-07
Довжина $15^{(\pm 0,2)}$, $R_a 12,5$	Точіння напівчистове	Штангенциркуль 8700-4025-03

Тема 2: Аналіз технологічності конструкції деталі

Якісну оцінку технологічності деталей проводять за: матеріалом, геометричною формою, якістю поверхонь, за проставленими розмірами, можливими способами виготовлення заготовки.

Під час аналізу технологічності необхідно зазначити:

- ◆ можливість обробки площин та отворів на прохід;
- ◆ можливість використання для обробки отворів револьверних головок, агрегатних верстатів;
- ◆ необхідність підрізування торців з внутрішньої сторони;
- ◆ жорсткість деталі;
- ◆ наявність зручних базових поверхонь;
- ◆ можливість багато різцевої обробки деталі і т.д.

Кількісну оцінку проводять за основними та допоміжними коефіцієнтами технологічності [9]:

- ◆ коефіцієнт уніфікації: $K_{ун.ел} = \frac{Q_{ун.ел}}{Q_{заг.ел}} > 0,6$,

де $Q_{ун.ел}$ – кількість уніфікованих елементів деталі;

$Q_{\text{заг.ел}}$ – загальна кількість елементів деталі.

- коефіцієнт точності обробки: $K_{mч} = \left(1 - \frac{1}{A_{\text{сер}}}\right) > 0,8$,

де $A_{\text{сер}} = \frac{n_1 + 2n_2 + \dots + 19n_{19}}{\sum_{i=1}^{19} n_i}$ – середня точність обробки.

- коефіцієнт якості обробки: $K_{ш} = \frac{1}{B_{\text{сер}}} < 0,32$,

де $B_{\text{сер}} = \frac{0,01n_1 + \dots + 80n_{14}}{\sum_{i=1}^{14} n_i}$ – середня шорсткість поверхонь по ряду Ra, мкм.

- коефіцієнт використання матеріалу: $K_{в.м} = \frac{m_d}{m_{\text{заг}}}$,

де m_d – маса деталі;

m_z – маса заготовки.

Таблиця 3- Рекомендовані такі значення $K_{в.м}$

Метод отримання заготовки	$K_{в.м}$
Прокат	0,2 ... 0,5
Лиття	0,5...65
Пластичне деформування	0,5...0,75
Точні методи лиття	0,6...0,85
Порошкова металургія	0,8...0,99

Приклад виконання

Заготовкою для деталі корпус підшипника (рис.1) є відливка і тому її одержання не викликає значних труднощів. Корпус має циліндричну форму. Відливка середньої складності за конфігурацією, що вимагає застосування стержневого формування під час одержання внутрішніх поверхонь.

Нетехнологічною в даній деталі є сферична внутрішня поверхня з розмірами $\varnothing 85 \text{ H7}^{(+0,035)}$, тому, що для обробки цієї поверхні немає вільного доступу для інструменту. Також нетехнологічним є отвір для кріпильного болта з розмірами M10×1-6H, тому, що вісь цього отвору розміщена асиметрично по відношенню до інших осей даної деталі, що обумовлює використання спеціального пристрою для його обробки, призводить до додаткових затрат і збільшує трудомісткість виготовлення. З точки зору економічності нетехнологічним є обробка внутрішньої сферичної поверхні деталі, вона вимагає застосування верстату з числовим програмним керуванням. В іншому деталь достатньо технологічна, допускає застосування високопродуктивних режимів обробки, має хороші базові поверхні для попередніх операцій і досить проста по конструкції. Розміщення кріпильних отворів, як різьбових, так і гладких допускає багато інструментальну обробку.

Поверхні обертання можуть бути оброблені на багатошпиндельних верстатах. Також конструкція деталі дозволяє обробку усіх поверхонь на прохід. До всіх поверхонь корпусу, що обробляються, є достатньо вільний доступ інструменту, отже в цілому деталь є достатньо технологічною.

Визначимо критерії технологічності конструкції деталі.

1. Рівень технологічності конструкції за точністю характеризується

коефіцієнтом точності, що визначається за формулою: $K_{mч} = \left(1 - \frac{1}{A_{ср}}\right)$,

де $A_{ср}$ – середній квалітет точності обробки виробу:

$$A_{ср} = \frac{n_1 + 2n_2 + \dots + 19n_{19}}{\sum_{i=1}^{19} n_i}$$

де n – число розмірів відповідного квалітету точності;

n – квалітет точності обробки.

$$A_{ср} = \frac{7 \cdot 4 + 12 \cdot 5 + 18 \cdot 8 + 13 \cdot 1 + 6 \cdot 1 + 14 \cdot 1}{4 + 5 + 8 + 1 + 1 + 1} = 10,05,$$

$$K_{mч} = \left(1 - \frac{1}{10,05}\right) = 0,9 > 0,8 - \text{технологічна}$$

2. Рівень технологічності за шорсткістю поверхні оцінюється коефіцієнтом

шорсткості, що визначається, за формулою: $K_{ш} = \frac{1}{B_{ср}}$,

де $B_{ср}$ – середній шорсткість по ряду R_a : $B_{ср} = \frac{0.01n_1 + \dots + 80n_i}{n_1 + n_2 + \dots + n_i}$,

де n – число поверхонь з відносним числовим значенням параметра шорсткості;

$$B_{ср} = \frac{8 \times 12,5 + 1 \cdot 12,5 + 4 \cdot 6,9 + 1 \cdot 2,5}{8 + 1 + 4 + 1} = 10,907,$$

$$K_{ш} = \frac{1}{10,907} = 0,09 < 0,32 - \text{технологічна}$$

3. Коефіцієнт використання матеріалу: $K_{вм} = \frac{M_d}{M_3}$,

де $M_d = 1,97$ кг – вага деталі по креслені;

$M_3 = 2,2$ кг – вага заготовки.

$$K_{вм} = \frac{1,97}{2,2} = 0,895 > 0,65 - \text{технологічна}$$

Рекомендовані значення $K_{вм}$ для литва 0,5...0,65.

4. Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів: $K_{y.e} = \frac{Q_{y.e}}{Q_e}$,

де $Q_{y.e}$ – кількість уніфікованих конструктивних елементів;

Q_e – загальна кількість конструктивних елементів.

$$K_{y.e} = \frac{Q_{y.e}}{Q_e} = \frac{13}{25} = 0,52 < 0,6 - \text{не технологічна}$$

На цій підставі робимо висновок, що така деталь в основному є технологічною у виготовленні.

Практичне заняття 2

Тема: Проектування одиничних техпроцесів виготовлення механічних компонентів робототехніки

Тема 1: Вибір методу отримання заготовки

Метод отримання заготовок визначається на основі креслення деталі, її службового призначення і технічних умов, програми випуску, типу виробництва, економічності вибору. Доцільність застосування того чи іншого методу отримання заготовки оцінюють за техніко-економічними показниками [5].

Витрати для механічної обробки металів за різними видами заготовок від чистої маси деталі наближено визначається за таблицями (табл. 4).

◆ Собівартість заготовок з прокату визначається за формулою:

$$S_{заг} = M + \sum C_{o.з.},$$

де M – витрати на матеріал заготовки, грн: $M = Q \cdot S - (Q - q) \frac{S_{відх}}{1000}$,

де Q – маса заготовки, кг; S – ціна 1 кг матеріалу заготовки, грн. (табл. 5); q – маса готової деталі, кг; $S_{відх}$ – ціна 1 т відходів, грн. (табл.6).

Технологічна собівартість заготівельних операцій: $\sum C_{з.о} = \frac{C_{п.з} \cdot T_{шт(шт-к)}}{60 \cdot 100}$.

де $C_{п.з}$ – приведені затрати на робочому місці, коп/год (табл.7); $T_{шт(шт-к)}$ – штучний або штучно-калькуляційний час виконання заготівельної операції.

◆ Вартість заготовок, отриманих всіма іншими способами, визначається за формулою:

$$S_{заг} = \left(\frac{C_i}{1000} Q \cdot k_T \cdot k_c \cdot k_g \cdot k_m \cdot k_n \right) - (Q - q) \frac{S_{відх}}{1000},$$

де C_i – базова вартість 1 т заготовок, грн;

k_m, k_c, k_g, k_m, k_n - коефіцієнти, що залежать від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу й об'єму виробництва заготовок (табл.8).

Таблиця 4- Витрати для механічної обробки металів за різними видами заготовок від чистої маси деталі

Вид заготовки	Витрати
Відливок з чавуну, сталі, бронзи	15...20%
Вільного кування	15...40%
Об'ємної гарячої штамповки	10%
Прокату (сталі)	15%

Таблиця 5 - Оптові ціни на деякі матеріали, грн. [14]

Оптові ціни за 1 т заготовок із прокату

Марка сталі	Сталь із поперечним січенням профілю прокату, мм									
	20... 21	22... 24	25... 30	31... 40	41... 50	52... 70	70... 100	105... 140	150... 200	210... 250
15...20	1440	1410	1370	1340	1300	1290	1290	1310	1320	1330
35,40	1460	1430	1390	1360	1320	1310	1310	1330	1340	1350
45,50	1470	1450	1400	1370	1340	1320	1330	1340	1360	1360
15X,20X, 30X	1520	1490	1450	1420	1380	1370	1370	1390	1400	1410
35X,40X, 45X	1540	1510	1470	1440	1400	1390	1390	1410	1420	1430

Оптові ціни за 1 т штампованих заготовок

Маса штамповки, кг	Степінь складності заготовки							
	1	2	3	4	1	2	3	4
	20X...50X				Ст. 8...60			
до 0,25	8100	8860	9880	10880	6380	7180	7880	8710
0,25...0,4	7030	7720	8600	9450	5530	6230	6820	7520
0,40...0,63	6140	6940	7600	8370	4870	5500	6040	6670
0,63...1,0	5450	6160	6790	7530	4190	4800	5310	5900
1,0...1,6	4890	5440	6100	6810	3760	4300	4760	5310
1,6...2,5	4440	4960	5490	6180	3200	3640	4080	4600
2,5...4,0	3950	4400	4900	5570	2920	3310	3730	4230
4,0...6,3	3630	4050	4530	5180	2610	2990	3390	3870
6,3...10	2530	3930	4390	5020	2550	2900	3280	3740
10...16	3320	3710	4160	4770	2420	2720	3090	3540
16...25	3260	3680	4050	4620	2320	2640	3000	3400
25...40	3170	3530	3960	4530	2300	2590	2940	3370
40...60	3100	3450	3870	4420	2240	2540	2860	3280

Оптові ціни за 1 т виливок із сірого чавуну

Маса виливки, кг	Степінь складності заготовки під час лиття									
	у піщані форми та кокіль					по моделі, що виплавляється та під тиском				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	СЧ10, СЧ15, СЧ18					СЧ10, СЧ15, СЧ18				
0,25...0,4	2980	3510	4170	4830	5550	2680	3160	3750	4350	4990
0,4...0,63	2830	335	4000	464	5360	2550	3010	3600	4180	4820
0,63...1	2690	3200	3840	4460	5180	2420	2880	3460	4010	4660
1...1,6	2560	3060	3680	4280	5000	2300	2750	3310	3850	4500
1,6...2,5	2440	2930	3530	4130	4830	2200	2640	3180	3720	4350
2,5...4	2330	2820	3380	3980	4680	2100	2540	3040	3580	4210
4...6,3	2220	2700	3250	3840	4530	2000	2430	2920	3460	4080
6,3...10	2120	2590	3120	3700	4380	1910	2330	2810	3330	3940
10...16	2030	2490	3000	3570	4240	1830	2240	2700	3210	3820
16...25	1940	2400	2890	3450	4100	1750	2160	2600	3100	3690
25...40	1870	2310	2780	3330	3970	1680	2080	2500	3000	3580
40...60	1800	2230	2680	3220	3850	1620	2010	2410	2890	3470
	СЧ20, СЧ25, СЧ30					СЧ20, СЧ25, СЧ30				
0,25...0,4	3120	3700	4420	5080	5800	2810	3330	3980	4570	5220

0,4...0,63	2970	3530	4240	4890	5610	2670	3180	3820	4400	5050
0,63...1	2820	3370	4070	4710	5430	2540	3030	3660	4240	4890
1...1,6	2690	3220	3910	4530	5250	2420	2900	3520	4080	4720
1,6...2,5	2560	3090	3750	4360	5070	2300	2780	3370	3920	4560
2,5...4	2440	2970	3590	4190	4890	2200	2670	3230	3770	4400
4,0...6,3	2330	2850	3430	4020	4720	2100	2650	3090	3620	4250
6,3...10	2230	2730	3280	3860	4560	2010	2460	2950	3470	4100
10...16	2130	2640	3150	3720	4400	1920	2380	2830	3350	3960
16...25	2040	2550	3040	3600	4250	1840	2290	2740	3240	3820
25...40	1970	2460	2930	3480	4120	1770	2210	2640	3130	3710
40...60	1900	2380	2830	3370	4000	1710	2140	2550	3030	3600

Таблиця 6 - Заготівельні ціни за 1т відходів вуглецевих чорних металів

Вид відходів	Ціна 1т, грн
Стружка сталі	100...280
Стружка чавуну	240...800
Стружка конструкційних легованих сталей	600...800

Таблиця 7 - Наведені затрати на робочому місці Сп.з, коп./год [5]

Різка заготовок діаметром до 50мм	8830
Різка заготовок діаметром до 140мм	16290
Різка на відрізних верстатах дисковими пилами	1210
Правка на автоматах	2000...2500

Таблиця 8 [5]

Коефіцієнти, що залежать від класу точності заготовки k_m

Вид лиття	Клас точності		
	I	II	III
Лиття у піщані форми та кокіль	1,1	1,05	1
Лиття по моделі, що виплавляється	1	1	1
Лиття під тиском	1	1	1
Штамповка	нормальної	підвищеної	
	1	1,05	

Примітка: I клас точності виливки відповідає масовому виробництву, II клас точності – серійному, III клас точності – одиничному виробництву

Коефіцієнти, що залежать від групи складності заготовки k_c

Вид лиття	Група складності				
	1	2	3	4	5
Лиття у піщані форми та кокіль	0,7	0,83	1	1,2	1,45
Лиття по моделі, що виплавляється	0,86	0,92	1	1,12	1,24
Лиття під тиском	0,90	0,95	1	1,07	-
Штамповка Ст. 08...85	0,75	0,84	1	1,15	-
Штамповка Ст. 15X...50X	0,77	0,87	1	1,15	-

Коефіцієнти, що залежать від маси заготовки k_g

Вид лиття	Вага заготовки, кг (чавун/сталь)				
	0,5...1	1...3	3...10	10...20	20...50
Лиття у піщані форми та кокіль	1,1/1,07	1/1	0,91/0,93	0,84/0,87	0,8/0,82
Лиття по моделі, що виплавляється	0,7/0,74	0,62/0,63	0,5/0,53	0,45/0,48	0,38/0,4
Лиття під тиском	0,81/0,81	0,75/0,75	0,69/0,71	0,64/0,67	0,62/0,65
Штпамповка Ст. 08...85	1,33	1	0,87	0,8	0,73
Штпамповка Ст. 15X...50X	1,29	1,14	1	0,89	0,8

Коефіцієнти, що залежать від марки матеріалу k_m

Вид лиття	Марка матеріалу			
	СЧ10...СЧ30	СЧ35... СЧ45	сталь вуглецева	сталь легована
Лиття у піщані форми та кокіль	1,04	1,08	1,22	1,93
Лиття по моделі, що виплавляється	2,11	2,44	1	1,08
Лиття під тиском	1,11	1,29	1	1
Штамповка	-	-	1	1,13

Коефіцієнти, що залежать від об'єму виробництва заготовок k_n

Вид лиття	група серійності (чавун/сталь)				
	1	2	3	4	5
Лиття у піщані форми та кокіль	0,52/0,5	0,76/0,77	1/11	1,2/1,2	1,44/1,48
Лиття по моделі, що виплавляється	0,83/0,83	1/1	1,23/1,23	-	-
Лиття під тиском	0,93/0,92	1/1	1,07/1,09	-	-
Штамповка	1	1	1	1	1

Приклад виконання

Заготовками для деталі (рис.1) можуть бути відливки, одержані литвом різними способами, зокрема – литвом у піщані форми із застосуванням стержнів, литвом в кокіль. При цьому технологічний процес механічної обробки не змінюється. Визначаємо вартість заготовки із сталі 35Л одержаної литвом у піщані форми за формулою:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_M \cdot K_P \cdot K_B \right) - (Q - q) \frac{S_{\text{відх}}}{1000},$$

де $C = 3000$ грн – базова вартість 1 т заготовок; $q = 1,97$ кг - маса деталі; $Q = 2,2$ кг - маса заготовки; $S_{\text{відх}} = 185$ грн – вартість 1 кг відходів; k_T , k_C , k_B , k_M , k_P , - коефіцієнти, що залежать від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу і об'єму виробництва заготовок.

$$S_{3a21} = \left(\frac{3000}{1000} \cdot 2,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,2 \cdot 1 \cdot 1 \right) - (2,2 - 1,97) \frac{185}{1000} = 14,47 \text{ г/т}$$



Вартість заготовки, отриманої з прокату: $S_{заг} = M + \sum C_{o.з.} = 21,42 + 2,06 = 23,48 \text{ грн}$

$$\sum C_{3,0} = \frac{C_{n,3} \cdot T_{um}}{60 \cdot 100} = \frac{1210 \cdot 10,2}{60 \cdot 100} = 2,06_{2pH}$$
$$M = Q \cdot S - (Q - q) \frac{S_{\text{сидх}}}{1000} = 17,25 \cdot 1,36 - (17,25 - 5,66) \cdot \frac{185}{1000} = 21,42 \text{ пн},$$

13

визначається T_0 , як сума основного часу за всіма технологічними переходами, які входять в дану операцію.

Визначається штучно-калькуляційний час: $T_{ш-к} = T_0 \cdot \phi_k$,

де ϕ_k - поправочний коефіцієнт, який залежить від типу виробництва і методу обробки поверхні (табл. 10).

Таблиця 9 - Наближені формули для визначення норм часу для обробки поверхні [5]

Основний технологічний час, $T_0 \cdot 10^{-3}$, хв	
Чорнове обточування за один прохід	0,17dl
Чистове обточування по 11-му квалітету	0,1dl
Чистове обточування по 9-му квалітету	0,17dl
Чорнова підрізка торця $Ra\ 6,3$	0,037(D-d)
Чистова підрізка торця $Ra\ 1,6$	0,052(D-d)
Відрізання	0,19dl
Чорнове та чистове обточування фасонним різцем	0,63(D-d)
Шліфування грубе по 11-му квалітету	0,07dl
Шліфування чистове по 9-му квалітету	0,1dl
Шліфування чистове по 6-му квалітету	0,15dl
Розточування отворів на токарному верстаті	0,18dl
Свердління отворів	0,52dl
Розсвердлювання отворів $d = 20 \dots 60$	0,31dl
Зенкерування	0,21dl
Розгорткування чорнове	0,43dl
Розгорткування чистове	0,86dl
Внутрішнє шліфування отворів 9-го квалітету	1,5dl
Внутрішнє шліфування отворів 7-го квалітету	1,8dl
Чорнове розточування отворів за один прохід $Ra\ 12,5$	0,2dl
Чорнове розточування під розгортку	0,3dl
Розгорткування плаваючою розгорткою по 9-му квалітету	0,27dl
Розгорткування плаваючою розгорткою по 7-му квалітету	0,52dl
Протягування отворів і шпонкових канавок (l – довжина протяжки)	0,4l
Стругання чорнове на поздовжньо-стругальних верстатах	0,065Bl
Стругання чистове під шліфування або шабрення (B – ширина поверхні, яка обробляється, мм; l – довжина поверхні, яка обробляється, мм)	0,034Bl
Фрезерування чорнове торцевою фрезою за прохід	6l
Фрезерування чистове торцевою фрезою	4l
Фрезерування чорнвою циліндричною фрезою	7l
Шліфування площин торцем круга	2,5dl
Фрезерування зубів черв'ячною фрезою ($D = 80 \dots 300$ мм) (D – діаметр зубчастого колеса, мм; b – довжина зуба, мм)	2,2Db
Обробка зубів черв'ячних коліс ($D = 100 \dots 400$ мм)	60,3D
Фрезерування шліцевих валів методом обкатування (l – довжина шліцевого валика, мм; z – число зубів)	9lz
Шліцешліфування	4,6lz
Нарізання різьби на валу ($d = 32 \dots 120$ мм)	19dl
Нарізання різі мітчиком в отворах ($d = 10 \dots 24$ мм)	0,4dl

Таблиця 10 - Значення коефіцієнта ϕ_k [5]

Види верстатів	Виробництво	
	одиничне, малосерійне	багатосерійне, масове
Токарні	2,14	1,36
Токарно-револьверні	1,98	1,35
Токано-багаторізцеві	-	1,50
Вертикально-свердлильні	1,72	1,30
Радіально-свердлильні	1,75	1,41
Розточувальні	3,25	-
Круглошліфувальні	2,10	1,55
Стругальні	1,73	-
Фрезерувальні	1,84	1,51
Зуборізні	1,66	1,27

Приклад виконання

Складаємо технологічний процес обробки корпусу підшипника (рис.1) і представляємо у таблиці 11. Проводимо розрахунок працездатності наприклад, для операції 020-Вертикально-свердлильна.

Розрахункова формула найбільш ймовірного машинного (основного) часу:

$$T_o = 0,00052dl, \text{ хв. } T_o = (0,00052 \cdot 14 \cdot 15) \cdot 4 = 0,47 \text{ хв.}$$

Штучно-калькуляційний час $T_{шт-к} = T_o \cdot \phi_k = 1,72 \cdot 0,47 = 0,81 \text{ хв.}$, де $\phi_k = 1,72$.

Розрахунок представлено у таблиці 11.

Таблиця 11 – Укрупнене нормування технологічного процесу обробки корпусу підшипника

№ опер.	Назва операції та її зміст	T_o , хв	ϕ_k	$T_{шт-к}$, хв
005	Токарна з ЧПК 1. Підрізати торець в р-р $53^{-1,0}$ 2. Точити пов. $\varnothing 100^{-0,8}$ 3. Розточити отв. $\varnothing 90^{+0,8}$ 4. Розточити канавку $\varnothing 93,5^{+0,35}$	1,75 0,333 0,32 0,5 0,4	1,84	3,22
010	Токарна-гвинторізна 1. Підрізати торець в р-р $50^{-0,6}$ 2. Розточити отв. $\varnothing 90^{+0,8}$ 3. Розточити канавку $\varnothing 93,5^{+0,35}$ 4. Розточити фаску 5×45^0 5. Розточити отв. $\varnothing 81^{+0,8}$	2,76 1,08 0,73 0,4 0,1 0,45	2,14	5,91
015	Токарна з ЧПК 1. Розточити сферу $\varnothing 85^{+0,035}$ 2. Розточити канавку $\varnothing 87$	1,52 0,92 0,6	1,84	2,8
020	Вертикально-свердлильна 1. Свердлити послідовно 4 отв. $\varnothing 14^{+0,4}$	0,47	1,72	0,81

025	Фрезерна з ЧПК 1.Фрезерувати послідовно канавки в р-р R 35 ^{+0,35}	2	3,83	1,51	5,78
030	Вертикально-свердлильна 1. Свердлити отвір Ø 8,95 ^{+0,2} 2. Зенкувати фаску в р-р 1×45°		0,94 0,7 0,24	1,72	1,6
035	Вертикально-свердлильна 1. Нарізати різь М10×1-6Н		0,37	1,72	0,63
	Всього		12,12		19,94

Тема 2: Визначення типу виробництва

Тип виробництва визначається коефіцієнтом закріплення операцій за одним робочим місцем або одиницею обладнання: $K_{з.о} = \frac{\sum O}{\sum P}$,

де О – число різних операцій; Р – число робочих місць, на яких виконуються дані операції.

Послідовність розрахунку $K_{з.о}$:

1) для кожної операції визначається розрахункова кількість верстатів:

$$m_p = \frac{N \cdot T_{шт(шт-к)}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_n},$$

де N – річна програма, шт; F_d – дійсний річний фонд часу, год ($F_d=4015$ або 4029 год); η_n – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання (табл. 12);

2) встановлюють прийняте число робочих місць Р, заокруглюючи до більшого цілого числа $m_p \approx P$;

3) для кожної операції визначається фактичний коефіцієнт завантаження робочого місця: $\eta_\phi = \frac{m_p}{P}$;

Примітка. Якщо η_ϕ більший η_n , необхідно збільшити кількість прийнятих верстатів, якщо η_ϕ значно нижчий η_n , то можливо об'єднувати рівноцінні за працездатністю операції.

4) кількість операцій, що виконуються на робочому місці: $O = \frac{\eta_n}{\eta_\phi}$;

5) коефіцієнт закріплення операцій: $K_{з.о} = \frac{\sum O}{\sum P}$.

Таблиця 12

Тип виробництва	$K_{з.о}$	η_n
Масовий	до 1	0,65...0,75
Серійний:		
Багатосерійний	від 1 до 10	0,65...0,75
Середньосерійний	від 10 до 20	0,75...0,85
Дрібносерійний	від 20 до 40	0,8...0,9
Одиничний	від 40	0,8...0,9

Таблиця 13 - Залежність типу виробництва від програми і маси деталі [5]

Маса деталі, кг	Тип виробництва				
	одиничний	мало-серійний	середньо-серійний	багато-серійний	масовий
<1,0	<10	10...2000	1500...100000	75000...200000	200000 і більше
1,0...2,5	<10	10...1000	1000...50000	50000...100000	100000 і більше
2,5...5,0	<10	10...500	500...35000	35000...75000	75000 і більше
5,0...10	<10	10...300	300...25000	25000...50000	50000 і більше
> 10	<10	10...200	200...10000	10000...25000	25000 і більше

Приклад виконання

Маса деталі (рис.1) - 1,97кг. За таблицею 5.2 встановлюємо, попередньо, тип виробництва – середньосерійний. За таблицею 12 вибираємо $\eta_n = 0,8$ - нормативний коефіцієнт завантаження обладнання.

$N=25000$ шт/рік- річна програма; $F_d=4015$ год - дійсний річний фонд часу роботи обладнання; $T_{шт-к}=3,22$ хв (табл. 11).

Проводимо розрахунки наприклад, для операції 005 – Токарна з ЧПК.

Кількість верстатів для операції: $m_p = \frac{N \cdot T_{шт-к}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_n} = \frac{25000 \cdot 3,22}{60 \cdot 4015 \cdot 0,8} = 0,42$.

Приймаємо 1 верстат.

Фактичний коефіцієнт завантаження робочого місця: $\eta_\phi = \frac{m_p}{P} = \frac{0,42}{1} = 0,42$.

Кількість операцій, що виконується на робочому: $O = \frac{\eta_n}{\eta_\phi} = \frac{0,8}{0,42} = 1,9$.

Проводимо аналогічно розрахунки для інших операцій. Результати розрахунків зводимо у таблицю 14.

Таблиця 14 – Визначення кількості верстатів та операцій

№ опер.	Назва операції	$T_{шт-к}$, хв	m_p , шт	P , шт	η_ϕ	O
005	Токарна з ЧПК	3,22	0,42	1	0,42	1,9
010	Токарна-гвинторізна	5,91	0,77	1	0,77	1,14
015	Токарна з ЧПК	2,8	0,36	1	0,36	2,22
020	Вертикально-свердлильна	0,81	0,15	1	0,15	5,33
025	Фрезерна з ЧПК	5,78	0,75	1	0,75	1,07
030	Вертикально-свердлильна	1,6	0,26	1	0,26	3,1
035	Вертикально-свердлильна	0,63	0,1	1	0,1	8
	Всього	19,94		7		30,76

$$\text{Тоді} \quad K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P} = \frac{30,76}{7} = 4,39$$

Згідно таблиці 12 якщо $1 < K_{з.о.} \leq 10$ - тип виробництва багатосерійний

Тема 3: Визначення організаційної форми виробництва

Форма організації технологічного процесу (групова чи потокова) встановлюється на основі порівняння добової продуктивності та добового випуску деталей.

Заданий добовий випуск виробів: $N_o = \frac{N}{254}$, шт.

Добова продуктивність потокової лінії: $Q_o = \frac{F_o}{T_{сер}} \cdot \eta_z$,

де $F_o=952$ хв – добовий фонд роботи обладнання (в дві зміни); $T_{сер}$ – середня працеемність основних операцій, хв:

$$T_{сер} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{ум_i}}{n},$$

де $T_{ум_i}$ - штучний час i -ої основної операції, хв; n – кількість основних операцій.

Якщо $N_o > 0,6 \cdot Q_o$ – приймається потокова форма; $N_o < 0,6 \cdot Q_o$ – групова форма.

Для **потокової форми** розраховується такт виробництва: $t_o = \frac{60F_o}{N}$.

Для **групової форми** розраховується:

▪ кількість деталей в партії $n = \frac{N \cdot a}{254}$,

де a – періодичність запуску в днях ($a=3, 6, 12, 24$ дні);

▪ розрахункове число змін по обробці партії деталей на дільниці: $C = \frac{T_{ум.сер.} \cdot n}{476 \cdot 0,8}$;

▪ прийняте число змін $C_{пр}$;

▪ прийняте число деталей в партії: $n_{пр} = \frac{C_{пр} \cdot 4760,8}{T_{ум.сер}}$.

Приклад виконання

Попередньо перевіряється можливість використання потокової форми організації виробництва для застосування однономенклатурної потокової лінії, тобто перевіряємо можливість завантаження лінії не менше ніж на 60%. Для цього визначаємо добовий випуск деталей та добову продуктивність лінії.

Добовий випуск деталей: $N_o = \frac{N}{254} = \frac{25000}{254} = 98,4 \approx 98$ шт.

де $N=25000$ шт – річна програма випуску виробів; 254 – кількість робочих днів у році.

$$\text{Добова продуктивність: } Q_d = \frac{F_d}{T_{\text{шт-к.с.}} \cdot \eta} = \frac{952}{2,5 \cdot 0,8} = 476,$$

де $F_d = 952$ хв – добовий фонд роботи обладнання у дві зміни; $T_{\text{шт-к.с.}}$ – середня працемісткість основних операцій, хв:

$$T_{\text{шт-к.с.}} = \frac{\sum_i^n T_{\text{шт-к.с.}}}{n} = \frac{19,94}{7} = 2,5 \text{ хв},$$

де $T_{\text{шт-к.с.}}$ – штучний час i -ої операції, хв. (табл. 14); n – кількість основних операцій (табл. 14).

Отже $0,6 \cdot Q_d = 476 \cdot 0,6 = 286 > N_d = 98$ і умова застосування потокової форми не виконується, тому приймається групова форма організації виробництва.

Розмір партії деталей, які одночасно запускаються у виробництво:

$$n = \frac{N \cdot a}{254} = \frac{25000 \cdot 3}{254} = 295 \text{ шт},$$

де $a = 3$ дні – періодичність запуску деталей у виробництво.

Кількість змін необхідну для обробки цієї партії деталей:

$$C = \frac{T_{\text{шт-к.с.}} \cdot n}{476 \cdot 0,8} = \frac{2,5 \cdot 295}{476 \cdot 0,8} = 1,9$$

Приймається дві зміни, тоді кількість деталей у партії, яка обробляється за одну зміну становить:

$$n_{\text{пр}} = \frac{C_{\text{пр}} \cdot 476 \cdot 0,8}{T_{\text{шт-к.с.}}} = \frac{2 \cdot 476 \cdot 0,8}{2,5} = 305 \text{ шт}$$

Тема 4: Визначення технологічної собівартості виготовлення деталі

Для визначення технологічної собівартості виготовлення деталі на основі порівняльної економічної ефективності використовується показник економії за наведеними витратами: $E_p = (C_0' - C_0'') \cdot N$, грн.

де C_0' і C_0'' – вартість механічної обробки за варіантами технологічного процесу, що проектується, грн.

Приведені часові затрати, грн: $C_{\text{н.з.}} = C_3 + C_{\text{ч.з.}} + E_H(K_6 + K_в)$,

де C_3 – основна та додаткова зарплата із нарахуваннями, грн/год.; $C_{\text{ч.з.}}$ – часові затрати по експлуатації робочого місця, грн/год.; K_6 , $K_в$ – питомі часові капіталовкладення відповідно у будівлю і верстат, грн/год; $E_H = 0,2$ – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

Основна і допоміжна зарплата, грн/год: $C_3 = C_{\text{т.ф.}} \cdot 1,53 \cdot K \cdot Y$,

де $C_{\text{т.ф.}}$ – годинна тарифна ставка верстатника, грн/год, (табл.15); K – коефіцієнт, що враховує зарплату наладчика (табл. 16); Y – коефіцієнт багатоверстатного обслуговування (табл. 17).

Таблиця 15 - Почасові тарифні ставки робітників

Професії робітників	По часові тарифні ставки по розрядах в грн/год					
	1	2	3	4	5	6
Тарифний коефіцієнт	1,00	1,08	1,23	1,35	1,54	1,80
Робітники основного та допоміжного виробництва	50,0	54,0	61,5	67,5	77	90

Таблиця 16 – Коефіцієнт К, який враховує зарплату наладчика [5]

К	Тип виробництва
1	одиничний, мало-, середньосерійний
1,1...1,15	багатосерійний, масовий

Таблиця 17 - Значення коефіцієнта Y, який враховує оплату робітника при багатOVERSTATному обслуговуванні [5]

Кількість верстатів	1	2	3	4	5	6	7
Y	1	0,65	0,48	0,39	0,35	0,312	0,3

Часові затрати на експлуатацію робочого місця, грн/год: $C_{ч.з.} = C_{ч.з.}^{б.у.} \cdot k_M$, де $C_{ч.з.}^{б.у.}$ - фактичні (скоректовані часові затрати), грн. (табл. 18); k_M - коефіцієнт, який вказує, в скільки разів затрати, пов'язані з роботою такого верстату, більші, ніж аналогічні витрати у першому варіанті [6], додаток 2.

$$\text{Або } K_M = \frac{\varphi}{1,14},$$

де φ – поправочний коефіцієнт: $\varphi = 1 + \frac{\alpha \cdot (1 - \eta_z)}{\eta_z}$,

де $\alpha \approx 0,3...0,5$ – частка постійних затрат в собівартості часових затрат на робочому місці; η_z – коефіцієнт завантаження верстату.

Таблиця 18 - Часові затрати на базовому робочому місці [5]

$C_{ч.з.}^{б.у.}$, коп./год	Тип виробництва
363	серійний
446	масовий, багатосерійний

Примітка. Значення $C_{ч.з.}^{б.у.}$ для умов двозмінної роботи.

Капітальні вкладення у верстат і будівлю, коп/год:

$$K_{\epsilon} = \frac{Ц \cdot 100}{F_0 \cdot \eta_z}, \quad K_{\delta} = \frac{F \cdot 78,4 \cdot 100}{F_0 \cdot \eta_z}.$$

де $Ц$ – балансова вартість верстата, грн; F – виробнича площа, яку займає верстат, м²:

$$F = f \cdot k_f,$$

де f – виробнича площа, яку займає верстат, м²; k_f – коефіцієнт, який враховує додаткову виробничу площу (табл. 19); $F_0 = 4-15$ або 4029 год – дійсний річний фонд часу роботи верстату; η_z – коефіцієнт завантаження верстату (для

серійного виробництва – 0,8; для масового – за фактичним завантаженням верстата).

Таблиця 19 - Коефіцієнт, який враховує додаткову виробничу площу K_f [5]

Площа, m^2	більше 20	10...20	6...10	4...6	2...4	менше 2
K_f	1,5	2,0	2,5	3	3,5	4,0

Примітка. Мінімальна виробнича площа на 1 верстат рівна $6m^2$ (якщо $f \cdot K_f < 6m^2$, її приймають рівною $6m^2$).

Вартість механічної обробки на розглядуваних операціях, грн:

$$C_o = \frac{C_{n.з.} \cdot T_{шт.(шт-к)}}{60}.$$

де $T_{шт(шт-к)}$ – штучний або штучно-калькуляційний час на операцію, хв; $K_g=1,3$ – коефіцієнт виконання норм; $C_{n.з.}$ – часові приведені затрати на операцію, коп/год.

Приклад виконання

Складаємо варіанти технологічного маршруту механічної обробки деталі корпус (рис.1). Особливу увагу приділяємо вибору металорізальних верстатів. Варіанти техпроцесів (за операціями, що відрізняються) представлені у таблиці 20.

Визначаємо технологічну собівартість виготовлення деталі за першим та другим варіантами.

Величину приведених часових затрат визначаємо за формулою:

$$C_{n.з.} = C_з + C_{ч.з.} + E_H (K_g + K_g), \text{ грн/год}$$

де $C_з$ - основна і додаткова заробітна плата:

$$C_{з1} = C_{т.ф.} \cdot 1,53 \cdot K \cdot Y = 60,6 \cdot 1,53 \cdot 1 \cdot 1 = 92,7 \text{ коп / год},$$

$$C_{з2} = C_{т.ф.} \cdot 1,53 \cdot K \cdot Y = 75,4 \cdot 1,53 \cdot 1 \cdot 1 = 115,36 \text{ коп/год}.$$

Таблиця 20 – Варіанти технологічного процесу

№	Назва операції	Оброблювана поверхня	Базова поверхня	Обладнання
Варіант 1				
005	Токарно-гвинторізна	розмір $53^{+1,0}$; розмір $1 \times 45^\circ$; $\varnothing 100^{-0,8}$; $\varnothing 90^{+0,8}$; $\varnothing 93,5^{+0,35}$.	$\varnothing 90^{+0,8}$	16K20
Варіант 2				
005	Токарна з ЧПК	розмір $53^{+1,0}$; розмір $1 \times 45^\circ$; $\varnothing 100^{-0,8}$; $\varnothing 90^{+0,8}$; $\varnothing 93,5^{+0,35}$.	$\varnothing 90^{+0,8}$	16A20Ф3

$C_{т.ф.}$ - годинна тарифна ставка верстатника

$$C_{т.ф.1} = 60,6 \text{ коп / год} \quad C_{т.ф.2} = 75,4 \text{ коп / год}$$

$K=1$ - коефіцієнт, що враховує зарплату наладчика; $Y=1$ - коефіцієнт багатостаткового обслуговування.

$C_{ч.з}$ - часові затрати на експлуатацію робочого місяця:

$$C_{ч.з.1} = C_{ч.з}^{\delta,y} \cdot K_M = 44,6 \cdot 1,8 = 80,28 \text{ коп/год}; \quad C_{ч.з.2} = C_{ч.з}^{\delta,y} \cdot K_M = 44,6 \cdot 1,4 = 62,44 \text{ коп/год}.$$

$C_{ч.з}^{\delta,y} = 44,6$ коп - фактичні (скоректовані часові затрати) K_M - коефіцієнт, який вказує, в скільки разів затрати, пов'язані з роботою такого верстату, більші, ніж аналогічні витрати у першому варіанті; $k_M = 1,8$, $k_M = 1,4$ [6] додаток 2.

$E_H=0,2$ - нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень;

K_B - питомі часові капітальні вкладення у верстат:

$$K_{B1} = \frac{C_1 \cdot 100}{F_0 \cdot \eta_3} = \frac{10200 \cdot 100}{4015 \cdot 0,8} = 317,56 \text{ грн/год};$$

$$K_{B2} = \frac{C_2 \cdot 100}{F_0 \cdot \eta_3} = \frac{18000 \cdot 100}{4015 \cdot 0,8} = 560,42 \text{ грн/год}$$

K_B - питомі часові капітальні вкладення в будівлю:

$$K_{B1} = \frac{F_1 \cdot 78,4 \cdot 100}{F_0 \cdot \eta_3} = \frac{12,25 \cdot 78,4 \cdot 100}{4015 \cdot 0,8} = 29,92 \text{ грн/год}$$

$$K_{B2} = \frac{F_2 \cdot 78,4 \cdot 100}{F_0 \cdot \eta_3} = \frac{12,15 \cdot 78,4 \cdot 100}{4015 \cdot 0,8} = 29,72 \text{ грн/год}$$

Балансова вартість верстата, грн:

$$C_1 = 10200 \text{ грн}; \quad C_2 = 18000 \text{ грн}.$$

Виробнича площа, яку займає верстат:

$$f_1 = 3,58 \text{ м}^2, \quad k_{f1} = 3,5; \quad F_1 = f \cdot k_f = 3,58 \cdot 3,5 = 12,25 \text{ м}^2.$$

$$f_2 = 4,5 \text{ м}^2, \quad k_{f2} = 3,0; \quad F_2 = f \cdot k_f = 4,5 \cdot 3,0 = 12,15 \text{ м}^2.$$

Визначаємо значення $C_{п.з}$: $C_{п.з.1} = 236,8$ грн/год; $C_{п.з.2} = 290,4$ грн/год.

Вартість механічної обробки на розглядуваних операціях:

$$C_o = \frac{C_{п.з} \cdot T_{ум.(ум-к)}}{60}, \quad \text{грн}$$

$$C_{o1} = \frac{C_{п.з.1} \cdot T_{ум.б}}{60} = \frac{236,8 \cdot 8,95}{60} = 35,3 \text{ грн.}; \quad C_{o2} = \frac{C_{п.з.2} \cdot T_{ум.пр}}{60} = \frac{290,4 \cdot 3,22}{60} = 15,6 \text{ грн.}$$

Визначаємо величину приведеної річної економії: $\Delta_M = (C_1 - C_2) \cdot N$, грн.

де C_1 , C_2 - вартість механічної обробки порівнювальних варіантів, грн.

$$\Delta_M = (35,3 - 15,6) \cdot 25000 = 492500 \text{ грн}$$

Як видно з представлених результатів розрахунку технологічна собівартість механічної обробки по другому варіанту значно менша ніж по першому. Замінивши операцію 005 “Токарно-гвинторізна” на “Токарну з ЧПК”, ми отримаємо збільшення затрат на купівлю обладнання з числовим програмним керуванням, але тим самим підвищимо продуктивність виробництва. Через те, що обладнання з ЧПК виконують дуже складні операції без ручного керування, їх використання призводить до більш високої продуктивності. На підставі проведеного розрахунку собівартості приймаємо другий варіант технологічного процесу як оптимальний.

Практичне заняття 4

Тема: Детальна розробка оптимального варіанта техпроцесу

Тема 1: Вибір і обґрунтування технологічних баз

На першій операції обробляються поверхні, які в подальшому використовуються як базові. Після першої операції базування (при подальшій обробці) здійснюється по обробленій поверхні. По можливості, необхідно намагатись досягнути принципу єдності баз і принципу постійності баз. Найбільш поширений метод отримання прогресивного базування – за допомогою розмірних ланцюгів [5, 7].

Сумарна похибка обробки повинна бути меншою допуску на розмір: $W_{\Sigma} < T_{обр.}$. Це стосується всіх розмірів, які отримуються на кожній технологічній операції. В загальному випадку очікувана похибка обробки:

$$W_{\Sigma} = W_{н.р.} + W_{т.с.} + W_{уст.},$$

де $W_{н.р.}$ – похибка налагоджуваного розміру; $W_{т.с.}$ – похибка технологічної системи; $W_{уст.}$ – похибка установки.

Примітка. $W_{н.р.}$ та $W_{т.с.}$ – в сумі дорівнюють середній статистичній точності і визначаються за таблицею додатка 6, [7]. $W_{уст.}$ – залежить від способу встановлення деталі на верстаті і від способу її закріплення.

$$\text{В загальному випадку: } W_{уст.} = \sqrt{W_{б.}^2 + W_{закр.}^2}$$

Розрахунок похибки обробки необхідно проводити в такій послідовності:

- на кожну операцію креслиться ескіз обробки в довільному масштабі. На ескіз наносять: розміри, які витримуються із відхиленнями; похибки установки; похибки технологічної системи;
- всі поверхні, що обробляються, показуються товстішою лінією.

Таблиця 21 - Похибка закріплення заготовок W_3 при установці в радіальному напрямку для обробки на верстатах, мкм [5]

Характеристика базової поверхні	Поперечні розміри заготовки, мм									
	6-10	10-8	18-13	30-50	50-80	80-120	120-180	180-260	260-360	60-500
Установка у затискній гільзі (цанзі)										
Холоднотянута калібрована	40	50	60	70	80	-	-	-	-	-
Попередньо оброблена	40	50	60	70	80	-	-	-	-	-
Чисто оброблена	20	25	30	35	40	-	-	-	-	-
Установка в трюхкулачковому патроні										
Лиття:										
В піщану форму маш. формовки	220	270	320	370	420	500	600	700	800	900
по металічній моделі	150	175	200	250	300	350	400	450	550	650
В постійну форму	50	60	70	80	100	120	140	160	-	-
По моделі, що виплавляється	25	30	35	40	50	60	70	80	-	-
Під тиском	220	270	320	370	420	500	600	700	800	-
Гаряча штампова	220	27	320	370	420	500	600	-	-	-
Попередньо оброблена	50	60	70	80	100	120	140	160	180	200
Чисто оброблена	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100

	Установка в пневматичному патроні									
Лиття:										
В піщану форму	180	220	260	320	380	440	500	580	660	760
маш. формовки										
В постійну форму	40	50	60	70	80	90	100	120	-	-
По моделі, що	20	25	30	35	40	45	50	60	-	-
виплавляється										
Під тиском	180	220	260	320	380	440	500	580	660	-
Гаряча штампова	180	220	260	320	380	440	500	-	-	-
Попередньо	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160
оброблена										
Чисто оброблена	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80

Примітка: 1. При установці на оправку необхідно враховувати похибку базування і приймати похибку закріпки в залежності від кріплення оправки в гільзі, патроні чи затискному пристосуванні. 2. Установка в жорстких центрах не дає похибки закріплення в радіальному напрямку. Похибка закріплення, яка утворюється при установці в плаваючий передній і задній центри, що обертається, не враховується, так як перекривається відхиленням заготовки під дією сили різання.

Таблиця 22 - Похибка закріплення заготовок W_3 при установці в осьовому напрямку для обробки на верстатах, мм

Характеристика базової поверхні	Поперечні розміри заготовки, мм									
	6-10	10-8	18-13	30-50	50-80	80-120	120-180	180-260	260-360	360-500
	Установка у затискній гільзі (цанзі) до упору									
Холоднотягнута	40	50	60	70	80	-	-	-	-	-
калібрована										
Попередньо	40	50	50	70	80	-	-	-	-	-
оброблена										
Чисто оброблена	20	25	30	35	40	-	-	-	-	-
	Установка в трьохкулачковому самоцентруючому патроні									
Лиття:										
В піщану форму	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
маш. формовки										
В постійну форму	50	60	70	80	90	100	110	120	-	-
По моделі, що										
виплавляється	30	40	50	60	70	80	90	100	-	-
Під тиском	70	80	90	100	110	120	130	140	150	-
Гаряча штамповка	70	80	90	100	110	120	130	-	-	-
Попередньо	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
оброблена										
Чисто оброблена	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
	Установка в пневматичному патроні									
Лиття:										
В піщану форму	55	60	70	80	90	100	110	120	130	140
маш. формовки										
В постійну форму	55	60	65	75	80	90	100	110	120	130
По моделі, що	45	50	55	65	75	80	85	90	-	-
виплавляється										
Під тиском	25	35	45	50	55	65	70	80	-	-
Гаряча штамповка	55	60	70	80	90	100	110	120	130	-
Попередньо	40	50	60	70	80	90	90	100	110	120
оброблена										
Чисто оброблена	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100

Примітка: 1. При установці на оправку необхідно враховувати похибку базування і приймати похибку закріпки в залежності від кріплення оправки в гільзі, патроні чи затискному пристосуванні.

2. Установка в центрах не дає похибки закріплення, але дає похибку базування в осьовому напрямку.

Таблиця 23 - Похибка закріплення заготовок W_3 при установці на опорні пластинки пристосування, мкм

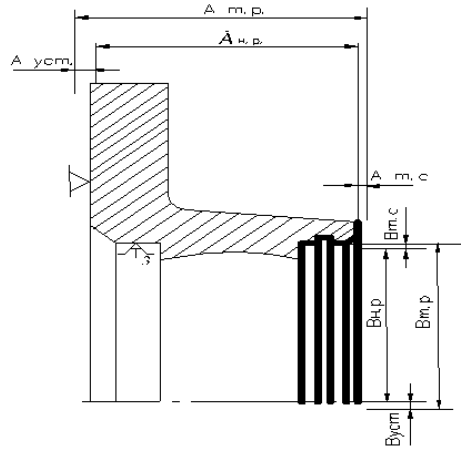
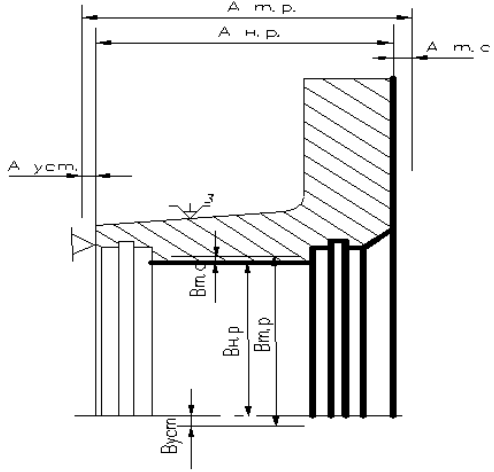
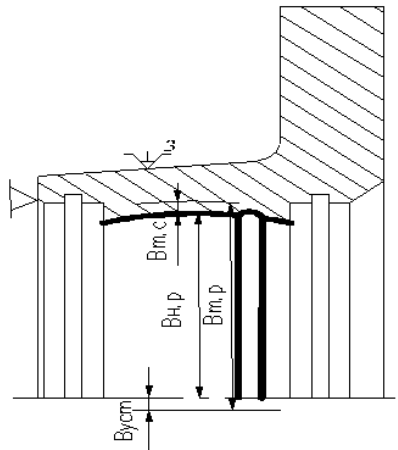
Характеристика базової поверхні	Поперечні розміри заготовки, мм									
	6-10	10-8	18-13	30-50	50-80	80-120	120-180	180-260	260-360	360-500
Установка у затискному пристрої з гвинтовим або ексцентриковим затиском										
Лиття:										
В піщану форму маш. формовки	-	100	110	120	135	150	175	200	240	280
В постійну форму										
По моделі, що виплавляється	55	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Під тиском	40	50	60	70	80	90	100	110	-	-
Гаряча штамповка	30	40	50	60	70	80	90	100	-	-
Попередньо оброблена	-	100	110	120	135	150	175	200	240	-
Чисто оброблена	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Шліфувана	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Установка в затискному пристрої з пневматичним затиском										
Лиття:										
В піщану форму машинної формовки	-	80	90	100	110	120	140	160	190	220
В постійну форму	50	55	60	65	70	80	90	100	110	120
По моделі, що виплавляється	35	40	50	55	60	70	80	90	-	-
Під тиском	25	30	35	40	50	60	70	80	-	-
Гаряча штамповка	-	80	90	100	110	120	140	160	190	-
Попередньо оброблена	35	40	50	55	60	70	80	90	100	110
Чисто оброблена	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100
Шліфувана	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90

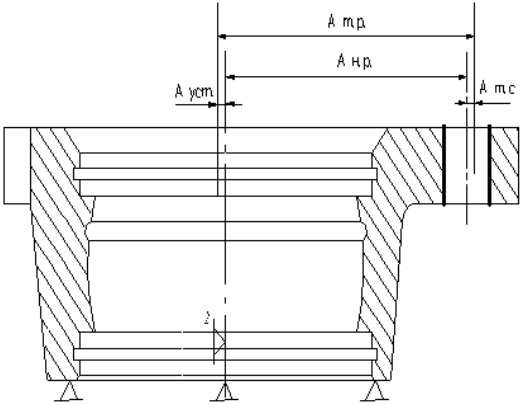
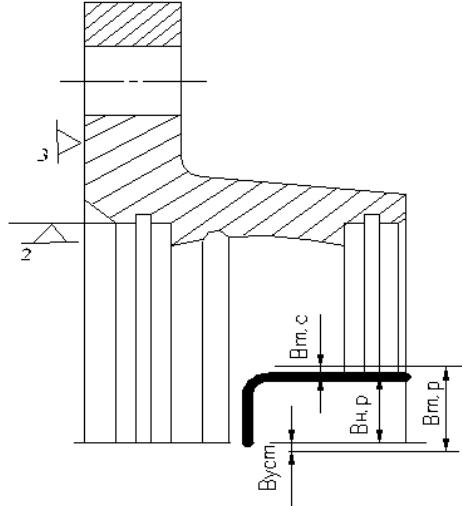
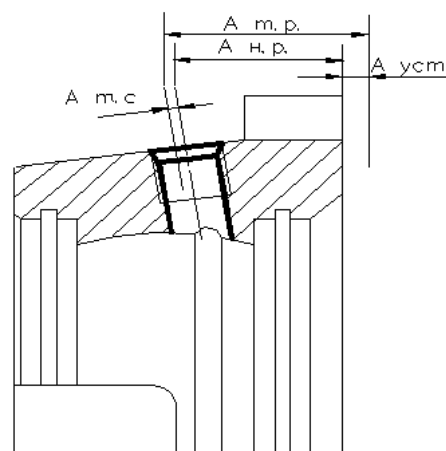
Примітка: 1. Установка на магнітній плиті не дає похибки закріплення. 2. Поперечний розмір заготовки приймають найбільшим в січенні по нормалі до оброблюваної поверхні. 3. Похибка закріпки дана по нормалі до оброблюваної поверхні.

Приклад виконання

Під час вибору технологічних баз для обробки корпусу (рис. 1) важливою умовою є те, що базові поверхні в подальшому не обробляються. Для операцій вибрані за базові такі поверхні, які є базами для обробки якомога більшого числа поверхонь. Обробку на токарних верстатах проводять за один установ, це підвищує точність і відповідно якість поверхонь і деталі в цілому. Ескізи операцій, розмірні ланцюги та розрахунки похибки обробки представлені у таблиці 24.

Таблиця 24

№ опер.	Ескіз операції та розмірні ланцюги	Розрахунок похибки обробки
005 Токарна з ЧПК		Розмір 53^{+1,0}мм $\omega = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} + \omega_y$ $\omega_c = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} = 0,2 \text{ мм [7] додаток 6.}$ $\omega_y = \sqrt{\omega_o^2 + \omega_s^2} = \sqrt{0,37^2 + 0^2} = 0,37 \text{ мм}$ $\omega = 0,2 + 0,37 = 0,57 \text{ мм; } T = 1 \text{ мм}$ Розмір $\varnothing 100^{-0,8}$; Розмір $\varnothing 90^{+0,8}$мм $\omega = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} + \omega_y$ $\omega_c = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} = 0,2 \text{ мм [7] додаток 6.}$ $\omega_y = \sqrt{\omega_o^2 + \omega_s^2} = \sqrt{0,1^2 + 0^2} = 0,1 \text{ мм}$ $\omega = 0,2 + 0,1 = 0,3 \text{ мм; } T = 0,8 \text{ мм}$
010 Токарно- гвин- торізна		Розмір 50^{-0,6}мм $\omega = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} + \omega_y$ $\omega_c = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} = 0,3 \text{ мм [7] додаток 6.}$ $\omega_y = \sqrt{\omega_o^2 + \omega_s^2} = \sqrt{0,08^2 + 0^2} = 0,08 \text{ мм}$ $\omega = 0,3 + 0,08 = 0,38 \text{ мм; } T = 0,6 \text{ мм.}$ Розмір $\varnothing 81^{+0,8}$; Розмір $\varnothing 90^{+0,8}$мм $\omega = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} + \omega_y$ $\omega_c = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} = 0,2 \text{ мм [7] додаток 6.}$ $\omega_y = \sqrt{\omega_o^2 + \omega_s^2} = \sqrt{0,01^2 + 0^2} = 0,01 \text{ мм}$ $\omega = 0,2 + 0,1 = 0,3 \text{ мм; } T = 0,8 \text{ мм.}$
015 Токарна з ЧПК		Сфера $\varnothing 85^{+0,035}$мм $\omega = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} + \omega_y$ $\omega_c = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} = 0,02 \text{ мм [7] додаток 6.}$ $\omega_y = \sqrt{\omega_o^2 + \omega_s^2} = \sqrt{0,006^2 + 0^2} = 0,006 \text{ мм}$ $\omega = 0,02 + 0,006 = 0,026 \text{ мм; } T = 0,035 \text{ мм}$

020 Верти- кально- сверд- лильна		Отвори $\varnothing 14^{+0,4}$ в розмір $105^{+0,82}$ мм. $\omega = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} + \omega_y$ $\omega_c = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} = 0,15 \text{ мм [7] додаток 6.}$ $\omega_y = \sqrt{\omega_6^2 + \omega_3^2} = \sqrt{0,12^2 + 0^2} = 0,12 \text{ мм}$ $\omega = 0,15 + 0,12 = 0,27 \text{ мм; } T = 0,82 \text{ мм}$
025 Фрезерна з ЧПК		Розмір $\varnothing 86^{+0,8}$ мм $\omega = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} + \omega_y$ $\omega_c = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} = 0,25 \text{ мм [7] додаток 6.}$ $\omega_y = \sqrt{\omega_6^2 + \omega_3^2} = \sqrt{0,12^2 + 0^2} = 0,12 \text{ мм}$ $\omega = 0,25 + 0,12 = 0,36 \text{ мм; } T = 0,8 \text{ мм.}$
030-035 Верти- кально- сверд- лильна		Розмір $\varnothing 8,95^{+0,2}$ в розмір $24^{+0,52}$ мм. $\omega = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} + \omega_y$ $\omega_c = \omega_{н.р} + \omega_{т.с} = 0,15 \text{ мм [7] додаток 6.}$ $\omega_y = \sqrt{\omega_6^2 + \omega_3^2} = \sqrt{0,12^2 + 0^2} = 0,12 \text{ мм}$ $\omega = 0,15 + 0,12 = 0,27 \text{ мм; } T = 0,52 \text{ мм}$

Тема 2: Вибір методу обробки поверхонь

Вибір методу обробки поверхонь проводять шляхом визначення числа ступенів обробки на основі розрахунків уточнення. Порядок розрахунків такий [5], [8]:

◆ визначається загальне уточнення: $K = \frac{T_{do}}{T_{dd}}$,

де T_{do} – допуск на розмір заготовки; T_{dd} – допуск на розмір деталі;

◆ визначається кількість необхідних технологічних переходів: $n = \frac{\lg K}{0,46}$;

- ◆ округляється розрахункова кількість необхідних технологічних переходів до найближчого меншого значення (для зменшення працеемності);
- ◆ знаходиться різниця між квалітетом заготовки і деталі та по прийнятим технологічним переходам розподіляють його по закону прогресивного зменшення;
- ◆ визначається точність проміжних розмірів заготовки в процесі механічної обробки.

Примітка. При визначенні допусків на розмір заготовки та деталі можна користуватися даними таблиці 25.

Таблиця 25 - Значення допусків Т, мкм [5]

Розміри, мм	Квалітети											
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
до 3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
3...6	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
6...10	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
10...18	8	11	18	27	42	70	110	180	270	430	700	1100
18...30	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
30...50	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
50...80	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
80...120	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
120...180	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
180...250	20	29	46	72	115	185	290	450	720	1150	1850	2900
250...315	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
315...400	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
400...500	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000

Приклад виконання

Проведемо розрахунки для поверхні торця $\varnothing 150\text{мм}$ корпуса матрицетримача (рис. 2). Для досягнення вказаної на кресленні точності обробки $Ra=0,8$ мкм торець $\varnothing 150\text{мм}$ підрізується попередньо; начисто та шліфується. Квалітет точності заготовки - 14, деталі - 8.

$$\text{Уточнення: } K = \frac{T_z}{T_o} = \frac{1,6}{0,063} = 25,4$$

$$\text{Кількість методів обробки: } m_p = \frac{\lg K}{0,46} = \frac{\lg 25,4}{0,46} = 3,05$$

Приймаємо кількість методів обробки даної поверхні рівним 3 для зменшення працеемності обробки.

Різниця квалітетів точності поверхні заготовки та деталі становить: $14-8=6$.

Розкладемо цю різницю за законом прогресивного зменшення: $6=3+2+1$.

Точність обробки після 1-ого переходу становить: $14-3=11$ кв.;

Точність обробки після 2-го переходу: $11-2=9$ кв.;

Точність обробки після 3-го переходу: $9-1=8$ кв.

Наведені розрахунки підтверджують правильність вибору методів обробки, що відповідають рекомендаціям за економічною точністю.

Практичне заняття 5

Тема: Технологія виготовлення станин, рам, корпусних деталей та валів

Тема 1: Розрахунок припусків

Розрахунок припусків на механічну обробку проводиться розрахунково-аналітичним методом на вказану поверхню, згідно з завданням, за методикою, що викладена у [5], [7].

Розрахунково-аналітичний метод оснований на визначенні мінімального припуску на механічну обробку. Найменший операційний припуск складається із окремих елементів, зв'язаних із різними похибками:

- Rz_{i-1} – висота мікронерівностей, мкм;
- h_{i-1} – величина дефектного шару, мкм;
- ρ_{i-1} – величина просторових відхилень, мкм;
- ε_i – похибка встановлення заготовки, мкм.

На практиці при розрахунку припуску використовуються формули:

- для обробки зовнішніх або внутрішніх поверхонь обертання $2Z_{\min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2})$
- для паралельної обробки протилежних поверхонь $2Z_{\min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i)$
- для послідовної обробки протилежних або окремо розміщених поверхонь $2Z_{\min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i)$

Розрахунок припуску розрахунково-аналітичним методом зручно звести в таблицю 26.

При заповненні таблиці 10.1 у графу:

1 - записуються всі технологічні переходи, за допомогою яких обробляються поверхні, на які розрахований припуск.

2 – висота мікронерівностей **Rz** та величина дефектного шару **h** вибирається за таблицями для всіх технологічних переходів [5], [7].

3 - просторові відхилення **ρ** розраховуються для заготовки за формулою $\rho_z = \sqrt{\rho_{\text{кор}}^2 + \rho_{\text{зм}}^2}$, де $\rho_{\text{зм}} = \Delta k \cdot l$ - зміщення зацентрування; $\rho_k = \Delta k \cdot d$ - кривизни заготовки. На всі наступні переходи остаточні просторові відхилення **ρ** визначаються за формулою: $\rho_1 = \rho_{\text{зал}} \cdot k_y$, $\rho_2 = \rho_1 \cdot k_y$ і т.д.

де k_y - коефіцієнт уточнення, який залежить від способу обробки і вибирається за таблицями [5].

Таблиця 26

Технологічні переходи обробки поверхні	Елемент припуску, мкм				Розрахунковий припуск, мкм.	Розрахунковий розмір, мм.	Допуск, мкм.	Максимально допустимий розмір, мм.		Максимально допустиме значення припусків, мм	
	Rz_{i-1}	h_{i-1}	ρ_{i-1}	ε_i				dmin	dmax	$Z_{\min}^{np}$	$Z_{\max}^{np}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Значення коефіцієнта уточнення для різних видів заготовок та методів обробки можна прийняти такими:

- однократне і чорнове точіння штампованих заготовок, заготовок із гарячекатаного прокату, попереднє шліфування прокату 10...11-го квалітетів – 0,06;
- напівчиста обробка заготовок з прокату, штампованих заготовок, розсвердлювання отворів, зміщення осі отвору після чорнкової обробки – 0,05;
- чистове точіння заготовок із сортового прокату звичайної якості, штампованих заготовок, після першого технологічного переходу обробки литих заготовок, після чистового шліфування прокату 10...11-го квалітетів – 0,04;
- двократне обточування каліброваного прокату або двократне шліфування заготовок після токарної обробки – 0,02;
- напівчиста обробка (зенкерування і чорнове розгорткування отворів) – 0,015;
- чистова обробка – розгорткування отворів – 0,002.

Питома кривизна заготовок Δ_k (мкм) на 1 мм довжини [5]

Матеріал і стан	Діаметр заготовки, мм					
	5...25	25...50	50...75	75...120	120...150	більше 150
Прокат калібрований:						
6-й квалітет	0,5	0,5				
9-й квалітет	1	0,75	0,5			
10...11-й квалітет	2	1	1			
12-й квалітет	3	2	1			
Прокат калібрований після термообробки	2	1,3	0,6			
Прокат гарячекатаний:						
після правки на пресі	0,15	0,12	0,10	0,08	0,06	0,05
після термообробки	2,0	1,3	1,3	0,6	0,6	0,3
Штамповки:						
після правки	2,0	1,5	1,5	1,0	1,0	
після термообробки	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	
Виливки:						
плити	2...3					
корпуса	0,7...1					

Примітка. 1. Загальна кривизна прутка не повинна перевищувати добуток допустимої питомої кривизни на довжину прутка. 2. Під час термообробки прокату табличні значення приймаються з коефіцієнтом 0,5. 3. Для ступінчатих валів питома кривизна приймається за середнім діаметром ступенів валу. 4. Для стрижневих деталей типу важелів і пластин середній діаметр визначається за величиною середнього перерізу стрижня.

Питомий відвід Δ_k і зміщення C_o вісі отворів під час свердління

Діаметр отворів, мм	Свердління спіральними свердлами		Глибоке свердління	
	Δ_k , мкм / мм	C_o , мкм	Δ_k , мкм / мм	C_o , мкм
3...6	2,1	10	1,6	10
6...10	1,7	15	1,3	15
10...18	1,3	20	1,0	20
18...30	0,9	25	0,7	25
30...50	0,7	30		

5 - похибка установки ε_i залежить від способу установки деталі в пристрої (може прийматися значення розраховане в практичному занятті 4).

Похибка установки заготовок в в патронах й на оправках без вивірки [5]

Тип патрону або оправки	Квалітет бази заготовки	Похибка установки, мкм	
		радіальна	осьова
Цангові оправки з діаметром установочної поверхні, мм До 50 мм Вище 50 до 200мм	7.. .9 7...9	10..35 20.. .60	20 50
Трьохкулачкові патрони з незагартованими кулачками або розрізними втулками з діаметрами до 120 мм	При зазорі до закріплення похибка 0,02-0,10 м	10.. .30	10.. .120
Двохкулачкові патрони з діаметром деталі 200 мм: з гвинтами з рейками	11. .13 11. .13	100.. .200 20...60	50.. .100 15. .40
Циліндричні оправки з гайками (установка на оправку з зазором)	8.. .11	В границях допуску зазору	10
Корпусні оправки для отвору з $l < 1,5d$	7	30	Визначається розмірами деталей і оправок
Патрони і оправки з пластинчатими пружинами	7... 11	10.. .20	
Патрони і оправки із пружними втулками і роликами	7...8	3...8	
Мембранні патрони	7.. .9	3...5	

Примітка: 1. Застосування пневматичних і гідравлічних силових вузлів дозволяє зменшити ϵ_y на 20-40%. 2. Обробку з використанням сирих кулачків і втулок застосовують при партії деталей не більше 80...120шт.

Похибка установки заготовок в цанговому і в трьохкулачковому патроні без вивірки, мкм [5]

Вид зразка заготовки		Напрям зміщення заготовки	Діаметр бази, мм								
			16... 10	10... 18	18... 30	30... 50	50... 80	80... 120	120... 180	180.. .260	260.. .500
Прутки калібровані		Радіальне	50	60	70	90	100	120	-	-	-
		Осьове	30	40	50	60	70	80	-	-	-
Прутки гарячокатані	Звич.точності	Радіальне	100	120	150	200	300	450	650	-	-
		Осьове	70	80	100	130	200	300	420	-	-
	Підвищ. точності	Радіальне	-	200	220	280	400	500	800	-	-
		Осьове	-	130	150	190	250	350	520	-	-

Одинична заготовка із шліфованою базою із чисто об-роб. базою										
	Радіальне	20				30		40		50
	Осьове	10				15		25		30
	Радіальне	50				80		100		120
	Осьове	3.0				50		80		100
Виливка:										
за моделями , що виплав-ляться в оболонкову форму	Радіальне	100				150		200		250
	Осьове	50				80		100		120
попередньо оброблені поверхні	Радіальне	100				150		200		250
	Осьове	50				80		100		120
в постійну форму заготовка штампована на кривошипному пресі	Радіальне	200	200	200	200	300	300	400	400	500
	Осьове	80	80	80	80	100	100	120	120	150

Примітка. 1. При установці в цангових патронах одиничних заготовок замість пруткових ϵ_y в осьовому напрямі збільшується на 10-30 мкм. 2. При нерухомій цанзі зміщення в осьовому напрямку мінімальне (5-20 мкм). 3. Затисканні деталі при закріпленні в патронах ϵ_y можна зменшити на 20-30%. 4. Патрони з пневматичними і гідравлічними приводами дозволяють зменшити ϵ_y на 20-40%.

Похибка установки ϵ_y , мкм, заготовок на постійні опори [5]

База заготовки	Найбільший розмір заготовки по нормалі до оброблюваної											
	Постійні опори						Опорні пластини					
	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	
Установка в приспособленні з гвинтовими або ексцентричними зажимами												
Шліфована	60	70	80	90	100	110	20	30	40	50	60	
Чисто оброблена, отримана литтям під тиском	70	80	90	100	110	120	30	40	50	60	70	
Попередньо оброблена, отримана литтям за моделями, що виплавляються або в оболонкові форми	80	90	100	110	120	130	40	50	60	70	80	
Отримана литтям:												
в постійну форму	-	100	110	120	130	140	55	60	70	80	90	

в піщану форму машинною формовкою за металічними моделями	90	100	125	150	175	200	90	100	110	120	135
<i>Установка в пристосування із пневматичними приводами</i>											
Шліфувана	35	40	50	55	60	70	15	20	25	30	40
Чисто оброблена, отримана литтям під тиском	55	60	65	70	70	100	25	30	35	40	50
Попередньо оброблена, отримана литтям за моделями, що виплавляються або в оболонкові	65	70	75	80	90	110	35	40	50	55	60
Отримана литтям:											
в постійну форму	-	80	90	100	100	120	50	55	60	65	70

6- графа “розрахунковий припуск” визначається за формулою:

$$Z_{\min} = Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}.$$

7- графа “розрахунковий розмір” заповнюється, починаючи із кінцевого розміру, який береться із креслення деталі.

Кожен наступний розмір отримується відніманням (для отворів), додавання (для валу) розрахункового припуску кожного технологічного переходу.

8 - значення допуску кожного переходу приймаються за таблицею 25 у відповідності з квалітетом того чи іншого виду обробки.

9 - графа $d_{\max}$ отримується заокругленням розрахункового розміру до точності допуску відповідного переходу для отвору і додаванням відповідного допуску до $d_{\min}$ – для валу.

10 - графа $d_{\min}$ отримується відніманням із $d_{\max}$ допуску відповідного переходу для отвору і заокругленням d_p до значення допуску - для валу.

11 - мінімальне граничне значення припусків для отворів $Z_{\min}^{\text{пр}}$ визначається, як різниця найбільших граничних розмірів і $Z_{\max}^{\text{пр}}$ - відповідно різниця найменших граничних розмірів. Для вала граничні значення припусків $Z_{\max}^{\text{пр}}$ визначаємо, як різницю найбільших граничних розмірів попереднього і виконуваного переходу, а $Z_{\min}^{\text{пр}}$, як різницю найменших граничних розмірів попереднього і виконуваного переходу.

Загальні припуски $Z_{\max}$ і $Z_{\min}$ сумуються.

Приклад виконання

Розрахунок припусків на обробку отвору $\varnothing 90H14^{(+0,8)}$ (рис. 1).

Сумарне значення R_z і h , які характеризують якість поверхні литих заготовок складає 700 мкм. Для чорнового і чистового розточування знаходимо значення R_z відповідно 50 і 30 мкм.

Підсумкове значення просторових відхилень для заготовок такого типу визначаємо за формулою: $\rho_3 = \sqrt{\rho_{кор}^2 + \rho_{зм}^2}$.

Величина короблення отвору: $\rho_{кор} = \sqrt{(\Delta k - d)^2 + (\Delta k \cdot l)^2}$,

де d і l – діаметр і довжина оброблюваного отвору;

Δk – питоме короблення, $\Delta k = 0,7$.

$$\rho_{кор} = \sqrt{(0,7 - 90)^2 + (0,7 \cdot 8,5)^2} = 125 \text{ мкм.}$$

Враховуючи, що підсумкове зміщення отвору у виливку відносно її зовнішньої поверхні (у даному випадку $\varnothing 90$, так як він служить базою) представляємо геометричну суму двох взаємно перпендикулярних площинах отримуємо: $\rho_{сн} = \sqrt{(\delta/2)^2 + (\delta/2)^2}$,

де δ – допуск на розмір $0,5 \cdot 90$ по класу точності, $\delta = 400$ мкм;

$$\rho_{сн} = \sqrt{400^2 + 400^2} = 566 \text{ мкм, } \rho_3 = \sqrt{125^2 + 266^2} = 580 \text{ мкм.}$$

Величина просторового відхилення: $\rho_1 = 0,05 \cdot \rho_3 = 0,05 \cdot 580 = 29$ мкм.

Похибка встановлення для чорнового розточування: $\varepsilon_1 = \sqrt{\varepsilon_\delta + \varepsilon_3}$.

Найбільший кут перекосу: $tg \alpha = \frac{0,043}{\sqrt{70^2 + 92^2}} = 0,0037$.

$\varepsilon_\delta = L \cdot tg \alpha$, $\varepsilon_\delta = 50 \cdot 0,0037 = 1,86$ мкм. Похибка $\varepsilon_3 = 175$ мкм, [5], ст. 82.

$$\varepsilon_y = \sqrt{1,86^2 + 175^2} = 175 \text{ мкм.}$$

Похибка встановлення для чистового розточування: $\varepsilon_2 = 0,05 \varepsilon_1 + \varepsilon_{інд} \approx 9$ мкм.

Через те, що чистове і чорнове розточування проводиться в одному установі, то $\varepsilon_{інд} = 0$.

Проводимо розрахунок мінімальних значень між операційних припусків, користуючись основною формулою: $2Z_{\min i} = 2 \left(R_{zi-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right)$.

Мінімальний припуск під чорнове розточування:

$$2Z_{\min 1} = 2 \left(700 + \sqrt{580^2 + 175^2} \right) = 2 \cdot 1305 \text{ мкм.}$$

Мінімальний припуск під чистове розточування:

$$2Z_{\min 2} = 2 \left(100 + \sqrt{29^2 + 9^2} \right) = 2 \cdot 130 \text{ мкм.}$$

Розрахунковий розмір після останнього переходу (чистове розточування $\varnothing 90,8$), для інших переходів отримуємо:

- для чорнового розточування: $d_{p2} = 90,11 - 0,26 = 89,85$ мм;

- для заготовки: $d_{p2} = 89,85 - 2,61 = 87,24$ мм

Значення допусків для чистового розточування складає $\delta = 110$ мкм (розмір на кресленні), $\delta = 408$ мкм - для чорнового розточування; $\delta = 2248$ мкм - для заготовки.

Мінімальні граничні значення припусків $Z_{\min 2}^{np}$:

для чорнового розточування: $2Z_{\min 2}^{np} = 89,85 - 87,24 = 2,61 = 2610$ мкм;

для чистового розточування: $2Z_{\min 1}^{np} = 90,11 - 89,85 = 0,26 = 260$ мкм.

Максимальні значення $Z_{\max}^{np}$:

для чорнового розточування: $2Z_{\max 2}^{np} = 89,44 - 84,99 = 4,450 = 4450$ мкм.

для чистового розточування: $2Z_{\max 1}^{np} = 90,00 - 89,44 = 0,560 = 560$ мкм.

Проводимо за допомогою складання таблиці, в яку.

У таблицю 27 послідовно записуємо технологічний маршрут обробки отвору, всі значення елементів припуску та усі результати розрахунків.

Загальні припуски $Z_{0 \min}$ і $Z_{0 \max}$, визначаємо сумуючи проміжні припуски і записуємо їх значення в низу відповідних граф.

$$2Z_{0 \max} = 4450 + 560 = 5010 \text{ мкм}; \quad 2Z_{0 \min} = 2610 + 260 = 2870 \text{ мкм}.$$

Проводимо перевірку правильності виконання операцій:

$$Z_{\max 2}^{np} - Z_{\min 2}^{np} = 560 - 260 = 300; \quad Z_{\max 1}^{np} - Z_{\min 1}^{np} = 4450 - 2610 = 1840;$$

$$\delta_1 - \delta_2 = 408 - 110 = 298 \approx 300; \quad \delta_3 - \delta_1 = 2248 - 408 = 1840.$$

Отже розрахунки виконано правильно.

Таблиця 27 – Розрахунок припусків та граничних розмірів для обробки отвору $\varnothing 90H11^{(+0,11)}$ (рис. 1)

Техно-логічні переходи обробки	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $2Z_{\min}$	Розрахунковий розмір d_r , мм	Допуск δ , мкм	Граничний розмір, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	R_z	h	ρ	ε				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\min}^{np}$	$2Z_{\max}^{np}$
Заготов-ка	—	700	580	—	—	87,24	2248	84,99	87,24	—	—
Чорнове розточу-вання	50	50	29	175	2·1305	89,85	408	89,44	89,85	2610	4450
Чистове розточу-вання	30	30	—	9	2·130	90,11	110	90,00	90,11	260	560
Разом										2870	5010

Розрахунок припусків на обробку поверхні валу $\varnothing 30_{+0,002}^{+0,017}$ (рис. 3).

Припуски на токарну обробку і шліфування поверхні $\varnothing 30_{+0,002}^{+0,017}$ в центрах розраховуємо за формулою [5], стор. 97: $2Z_{\min} = 2(R_{Z_{i-1}} + h_{i-1} + \rho_{i-1})$, де $R_{Z_{i-1}}$ і h_{i-1} – параметр шорсткості поверхні та глибина дефектного шару на попередній стадії обробки, мкм [5], таблиця. 4.

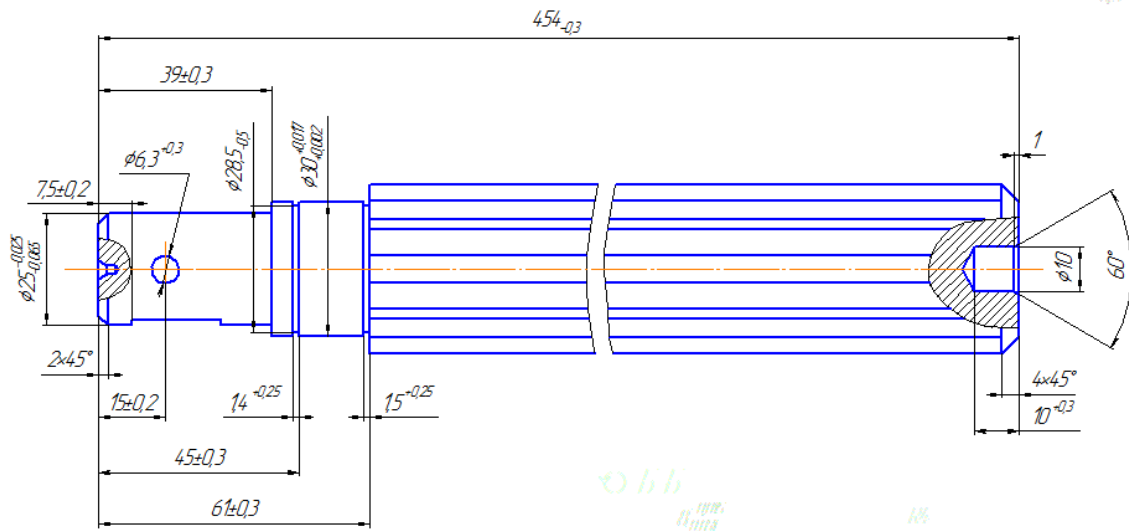


Рис. 3

ρ_{i-1} – сумарне просторове відхилення поверхні на попередній стадії обробки (просторове відхилення поверхні заготовки), мкм.

Сумарне просторове відхилення поверхні при обробці в центрах стержневих заготовок з сортового прокату визначається за формулою [5], таблиця. 4.28: $\rho = \sqrt{\rho_{кор}^2 + \rho_{ц}^2} = \sqrt{295^2 + 250^2} = 387 \text{ мкм}$,

де $\rho_{кор}$ - просторове відхилення поверхні, викликане викривленням заготовки, мкм: $\rho_{кор} = \Delta_k \cdot l = 1,3 \cdot 227 = 295$ мкм (де Δ_k – питома кривизна, мкм/мм; для заготовки з гарячекатаного прокату діаметром 25...50 мм після попередньої термообробки рівна 1,3 мкм на 1 мм довжини; l – відстань від точки базування до оброблюваної поверхні, мм (рис. 4); у найгіршому випадку ця відстань дорівнює половині довжини заготовки, тобто $l = 454/2 = 227$ мм);

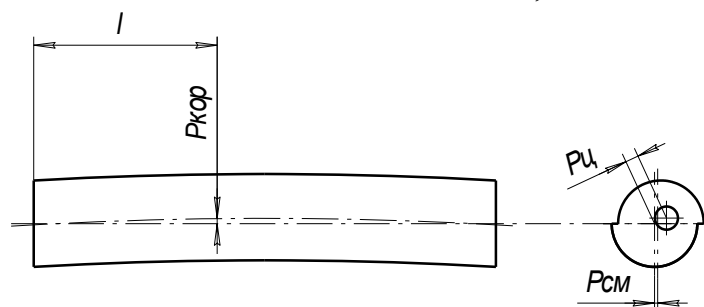


Рис. 4 – Просторові відхилення заготовки

$\rho_{ц}$ – просторове відхилення поверхні, викликане погрішністю центрування і при закріпленні заготовок в самоцентруючому затискному призматичному пристосуванні дорівнює похибці налаштування фрезерно-центрувального верстата $\rho_{ц} = 250$ мкм.

Для подальших стадій обробки залишкове просторове відхилення поверхні визначається за формулою: $\rho_i = \rho_{i-1} \cdot K_y$,

де K_y – коефіцієнт уточнення форми, який залежить від вигляду і стадії обробки: 0,06 для одноразового і чорнового точіння, попереднього шліфування; 0,05 для напівчистої обробки; 0,04 після чистового точіння і шліфування:

для чорнового точіння $\rho = 387 \cdot 0,06 = 23$ мкм,

для напівчистового точіння $\rho = 23 \cdot 0,05 = 1$ мкм.

для подальших переходів ρ близьється до нуля.

Значення R_{Zi-1} і h_{i-1} , ρ_{i-1} представлені в таблиці 28.

Розраховані мінімальні значення припуску:

для чорнового точіння $2Z_{\min} = 2(150 + 150 + 378) = 1374$ мкм,

для напівчистового точіння $2Z_{\min} = 2(50 + 50 + 23) = 246$ мкм,

для попереднього шліфування $2Z_{\min} = 2(30 + 30 + 1) = 122$ мкм,

для кінцевого шліфування $2Z_{\min} = 2(10 + 20 + 0) = 60$ мкм.

Розрахункові розміри (для останнього переходу в якості розрахункового береться мінімальний розмір за кресленням):

для попереднього шліфування $d_p = 30,002 + 0,060 = 30,062$ мм,

для напівчистового точіння $d_p = 30,062 + 0,122 = 30,184$ мм,

для чорнового точіння $d_p = 30,184 + 0,246 = 30,430$ мм,

для заготовки $d_p = 30,430 + 1,374 = 31,804$ мм.

Граничні мінімальні розміри отримуємо округленням розрахунків з точністю відповідній точності допуску. Значення допусків беремо з таблиці 25.

Таблиця 28 – Розрахунок припусків обробки поверхні $\varnothing 30^{+0,017}_{+0,002}$ валу

Технологічні переходи обробки	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск $2Z_{\min}$	Розрахунковий розмір d_p , мм	Допуск δ , мкм	Граничний розмір, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	R_z	h	ρ				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\min}^{\text{пр}}$	$2Z_{\max}^{\text{пр}}$
Заготовка	150	150	378	—	31,804	1300	31,8	33,1	—	—
Чорнове точіння	50	50	23	1374	30,430	330	30,43	30,76	1,37	2,34
Напів- чистове точіння	30	30	1	246	30,184	84	30,18	30,26	0,25	0,50
Поперед- нє шліфу- вання	10	20	0	122	30,062	33	30,062	30,095	0,118	0,165
Кінцеве шліфу- вання	5	15	0	60	30,002	15	30,002	30,017	0,060	0,078
Разом									2870	5010

Граничні максимальні розміри:

для заготовки $d_{\min} \approx 31,8$ мм; $d_{\max} = 31,8 + 1,3 = 33,1$ мм;

для чорнового точіння $d_{\min} \approx 30,43$ мм; $d_{\max} = 30,43 + 0,33 = 30,76$ мм;

для напівчистового точіння $d_{\min} \approx 30,18$ мм; $d_{\max} = 30,18 + 0,084 \approx 30,26$ мм;

для попереднього шліфування $d_{\min} = 30,062$ мм; $d_{\max} = 30,062 + 0,033 = 30,095$ мм;

для остаточного шліфування $d_{min} = 30,002$ мм; $d_{max} = 30,002 + 0,015 = 30,017$ мм.

Граничні припуски визначаються як різниці граничних розмірів на даному і попередньому переходах:

для чорнового точіння	$2Z_{min}^{np.i} = 38,1 - 30,43 = 1,37$ мм;
	$2Z_{max}^{np.i} = 33,1 - 30,76 = 2,34$ мм;
для напівчистового точіння	$2Z_{min}^{np.i} = 30,43 - 30,18 = 0,25$ мм;
	$2Z_{max}^{np.i} = 30,76 - 30,26 = 0,50$ мм;
для попереднього шліфування	$2Z_{min}^{np.i} = 30,18 - 30,062 = 0,118$ мм;
	$2Z_{max}^{np.i} = 30,26 - 30,095 = 0,165$ мм;
для остаточного шліфування	$2Z_{min}^{np.i} = 30,062 - 30,002 = 0,060$ мм;
	$2Z_{max}^{np.i} = 30,095 - 30,017 = 0,078$ мм.

Практичне заняття 6

Тема: Технологія виготовлення деталей зубчатих передач, важелів, вилок, шатунів

Тема 1: Розрахунок режимів різання

Розрахунок режимів різання проводять аналітичним методом в такій послідовності [5, 7-9]:

1. Вибирається чи назначається глибина різання. Глибина різання дорівнює операційному припуску.

- Якщо поверхня обробляється один раз, то знімається весь припуск.
- Якщо поверхня обробляється два рази, то припуск ділиться відповідно на 70% і 30%.
- Якщо поверхня обробляється три рази, то припуск відповідно ділиться у співвідношенні: 70%:20%:10%.

2. Визначається подача за довідниками (необхідно намагатись вибрати максимально можливу подачу), або за формулами:

$$S_x = S_z \cdot z \cdot n, \text{ мм/хв або } S_x = S_o \cdot n, \text{ мм/хв.}$$

де S_z – подача в міліметрах на 1 зуб інструменту (розгортки, фрези і т.д.), мм/зуб; S_o – подача в міліметрах на 1 оберт заготовки чи інструменту, мм/об; z – число зубів інструменту; n – число обертів, об/хв.

3. Визначається швидкість різання

- якщо головний рух обертальний: $V = \frac{C_v \cdot K_v}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S^{y_x}}, \text{ м/хв;}$

- якщо головний рух поступальний: $V = \frac{l \cdot K_v}{1000 \cdot t_x}, \text{ м/хв.}$

де C_v – поправочний коефіцієнт; T – період стійкості інструмента, хв; t – глибина різання, мм; S – подача, мм/об; $K_v = K_m \cdot K_n \cdot K_n$ – коефіцієнт уточнення.

4. За знайденою швидкістю різання підраховують число обертів шпинделя, об/хв:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D},$$

де D – діаметр оброблюваної поверхні або інструменту, мм.

Примітка. Число оборотів шпинделя коректується, шляхом заокруглення в меншу сторону відповідно до паспортних даних верстату. Також коректування можна здійснити за таблицями джерела [7-9] знаходиться максимальна та мінімальна частота обертання шпинделя та число швидкостей шпинделя вибраного верстату для обробки. В такому разі

визначається значення стандартного знаменника геометричної прогресії: $\phi^{z_{cm}-1} = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}$,

тоді $\phi = \left(\frac{n_{\max}}{n_{\min}} \right)^{\frac{1}{z_{cm}-1}}$ і приймають найближче значення з трьох: 1,26; 1,41; 1,58. Таким

чином $n_1 = n_{\min} \times \phi$, ... , $n_i = n_{i-1} \times \phi$. Остаточню приймається найближче значення до розрахункового числа обертів шпинделя верстату.

5. Визначається сила різання за методикою дерела [5] в залежності від виду обробки. У загальному P_z – тангенціальна сила різання визначається за формулою, Н:

$$P_z = C_p \cdot t \cdot S^{0,75},$$

де C_p – коефіцієнт, який залежить від матеріалу заготовки та величини кутів заточування інструменту (для сталей $C_p = 225$, сірого чавуну $C_p = 98$); t – глибина різання, мм; S – подача інструменту, мм/об.

6. Визначається потужність різання відповідно до вибраного методу обробки, кВт.

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{60 \cdot 102},$$

де P_z – тангенціальна сила різання, Н; v – швидкість різання, м/хв.

За потужністю різання вибирається верстат.

Приклад виконання

Розрахуємо режими різання для операції 005 “Токарна з ЧПК” за методикою джерела [5]. Операція проводиться на токарному верстаті з ЧПК мод. 16A20Ф3, і складається з кількох переходів: розточування отвору і точіння зовнішньої поверхні. Для розрахунку обираємо розточування отвору $\varnothing 90^{+0,8}$.

Визначаємо глибину різання: $t = \frac{D - D_0}{2} = \frac{94 - 90}{2} = 2 \text{ мм}$,

де D – діаметр заготовки; D_0 – діаметр деталі.

Визначаємо подачу для чистової обробки $S = 0,25$ мм/об.

Визначаємо швидкість різання: $V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S^{y_v}} K_v$,

де C_v – поправочний коефіцієнт різання, $C_v = 325$;

T – стійкість інструменту, $T = 80$ хв ;

m , x_v , y_v , – показники степеня, $m = 0,28$, $x_v = 0,12$, $y_v = 0,5$;

K_v – загальний коефіцієнт, який враховує: матеріал заготовки, стан поверхні, матеріал інструменту.

$$K_v = 0,95 \cdot 1 \cdot 1,1 = 1,045$$

$$V = \frac{325}{80^{0,28} \cdot 2^{0,12} \cdot 0,25^{0,5}} \cdot 1,045 = 56,52 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо число обертів шпинделя: $n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}$,

$$n = \frac{1000 \cdot V}{3,14 \cdot 94} = \frac{1000 \cdot 56,52}{3,14 \cdot 94} = 191,5 \text{ об/хв.}$$

Сила різання: $P = 10 C_p t^x s^y v^n K_p = 10 \cdot 300 \cdot 2^{1,0} \cdot 0,25^{0,75} 56,52^{0,15} \cdot 1 = 3846,4 \text{ Н}$

Потужність різання: $N = \frac{P \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{3846,4 \cdot 56,52}{1020 \cdot 60} = 3,6 \text{ кВт}$

Потужність прийнятого верстату для обробки 10 кВт.

Тема 2: Нормування технологічного процесу

Технічні норми часу в умовах масового і серійного виробництва встановлюються розрахунково-аналітичним методом [5].

У серійному виробництві при груповій організації технологічного процесу визначається норма штучно-калькуляційного часу, хв:

$$T_{шт-к} = \frac{T_{н.з.}}{n} + T_{шт},$$

де $T_{н.з.}$ – підготовчо-заключний час, хв; n – кількість деталей у налагоджувальній партії, шт: $n = \frac{N \cdot a}{254}$.

У масовому і багатосерійному виробництві при потоковій формі організації технологічного процесу визначається норма штучного часу, хв:

$$T_{шт.} = T_o + T_\partial + T_{об} + T_{від},$$

де T_o – основний час, хв; T_∂ – допоміжний час, хв.

$$T_\partial = T_{у.с.} + T_{з.о.} + T_{уп.} + T_{вим.},$$

де $T_{у.с.}$ – час на установку і зняття деталі, хв.; $T_{з.о.}$ – час на закріплення і відкріплення; $T_{уп.}$ – час на прийняття управління, хв; $T_{вим.}$ – час на вимірювання деталі, хв; $T_{об}$ – час на обслуговування робочого місця, хв; $T_{від}$ – час на перерви, відпочинок і особисті потреби, хв.

Всі складові норм часу вибираються за загальномашинобудівними нормативами для технічного нормування робіт на металорізальних верстатах.

Сума основного і допоміжного часу складає оперативний час, хв:

$$T_{он} = T_o + T_\partial.$$

Час на обслуговування робочого місця $T_{обс}$ встановлюється за нормативом і в багатьох випадках визначають у відсотках (до 4...8%) від $T_{он}$.

Час на відпочинок $T_{від}$, виробничу гімнастику й особисті потреби регламентовано законодавством і визначається у відсотках від $T_{он}$.

$$T_{від} \approx 2,5\% T_{он}$$

Формули для визначення основного часу [8]

Вид обробки за переходами	Теоретична формула машинного часу	Вид обробки за переходами	Теоретична формула машинного часу
Підрізання торця (кільця)	$T_o = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4000 vS}$	Фрезерування циліндричною і торцевою фрезою	$T_o = \frac{l}{S_{\text{н}}}$
Підрізання торця (суцільного круга)	$T_o = \frac{\pi D^2}{4000 vS}$	Шліфування плоске торцем круга	$T_o = \frac{lhf}{1000 vt}$ попереднє $h=0,3\text{мм}$, $f=1,2$, $t=0,02\text{мм/дв.хід}$ чистове $h=0,1\text{мм}$, $f=1,4$, $t=0,009\text{мм/дв.хід}$ тонке $h=0,04\text{мм}$, $f=1,5$, $t=0,005\text{мм/дв.хід}$
Свердління отворів до $\varnothing 20\text{мм}$ Розсвердлювання Зенкерування Розгорткування Розточування Розточування	$T_o = \frac{\pi D l}{1000 vS}$	Шліфування внутрішніх поверхонь	$T_o = \frac{2\pi D l h}{1000 v S t} f$ попереднє $h=0,2\text{мм}$; $f=1,4$ $t=0,004\text{мм/дв.хід}$ чистове $h=0,2\text{мм}$; $f=1,5$ $t=0,009\text{мм/дв.хід}$
Обточування	$T_o = \frac{\pi D l}{1000 vS}$	Шліфування зовнішніє кругле з повздовжньою подачею	$T_o = \frac{\pi D l h}{1000 v S t} f$ попереднє $h=0,25\text{мм}$; $f=1,2$ $t=0,024\text{мм/дв.хід}$ чистове $h=0,1\text{мм}$; $f=1,4$; $t=0,008\text{мм/дв.хід}$ тонке $h=0,025\text{мм}$; $f=2$; $t=0,003\text{мм/дв.хід}$
Протягування внутрішніх та зовнішніх плоских поверхонь	$T_o = \frac{la}{1000 v}, \alpha=2$	Шліфування різі чистове	$T_o = \frac{\pi D l a}{1000 v S} \left(\frac{h}{t} + p \right) a$, $\alpha=1,1$, $h=0,85$, $p=3,0$, $t=0,05\text{мм/дв.хід}$
Нарізання різі мітчиком, плашкою	$T_o = \frac{\pi D l a}{1000 v S}, \alpha=1,85$	Стругання або довбання	$T_o = \frac{B l a}{1000 v S}, \alpha=1,43$
Фрезерування різі (зовнішня різь)	$T_o = \frac{1,2\pi \cdot d_{\phi}}{1000 v S_z z_{\phi}}$ $d_{\phi}=65\text{мм}$, $z_{\phi}=14$	Нарізання різі різцем	$T_o = \frac{\pi D l a}{1000 v S}, \alpha=1,85$, $i=1,9S$ – чоркове $i=1,2S$ – чистове

Приклад виконання

Розраховуємо норми часу для операції 005 “Токарна з ЧПК”.

Операція складається з переходів (табл. 11):

1.Підрізати торець в р-р $53^{-1,0}$

2.Точити пов. $\varnothing 100^{-0,8}$

3.Розточити отв. $\varnothing 90^{+0,8}$

4.Розточити канавку $\varnothing 93,5^{+0,35}$

Основний час для 1-го переходу: $T_o = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{1000vS} = \frac{\pi(100^2 - 86^2)}{1000 \cdot 69 \cdot 0,3} = 0,4 \text{ хв}$

Основний час для 2-го переходу: $T_o = \frac{\pi D l}{1000vS} = \frac{\pi \cdot 100 \cdot 35}{1000 \cdot 69 \cdot 0,3} = 0,53 \text{ хв}$

Основний час для 3-го переходу: $T_o = \frac{\pi D l}{1000vS} = \frac{\pi \cdot 90 \cdot 15,9}{1000 \cdot 57 \cdot 0,3} = 0,26 \text{ хв}$

Основний час для 4-го переходу: $T_o = \frac{\pi D l}{1000vS} = \frac{\pi \cdot 93,5 \cdot 5}{1000 \cdot 58 \cdot 0,05} = 0,51 \text{ хв}$

Основний час для 005 операції: $T_0 = 1,7 \text{ хв}$;

$T_{\text{уст}} = 0,2 \text{ хв.}$;

$T_{\text{упр}} = 0,3 \text{ хв.}$;

$T_{\text{вим}} = 1,1 \text{ хв.}$;

$T_{\text{закр}} = 0,62 \text{ хв.}$

$$T_{\text{доп}} = 0,2 + 0,3 + 1,1 + 0,62 = 0,22 \text{ хв}$$

Оперативний час виконання операції: $T_{\text{оп}} = T_0 + T_{\text{доп}} = 1,7 + 0,22 = 1,92 \text{ хв}$

$T_{\text{орг}} = 2\% T_{\text{оп}} = 0,038 \text{ хв}$; $T_{\text{техн}} = 2\% T_{\text{оп}} = 0,038 \text{ хв}$;

$$T_{\text{ОБСЛ}} = 0,038 + 0,038 = 0,076 \text{ хв};$$

$T_{\text{відп}} = 2,5\% T_{\text{оп}} = 0,048 \text{ хв}$;

$$T_{\text{ит}} = 1,92 + 0,076 + 0,048 = 2,044 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{ит.к.}} = 2,044 + \frac{26}{295} = 2,13 \text{ хв.}$$

Список посилань

1. Мельничук П.П., Боровик А.І., Лінчевський П.А. Технологія машинобудування: підручник. Житомир: ЖДТУ, 2005. 357с.
2. Божидарнік В. Технологія виготовлення виробів: навчальний посібник. Л.: Надстиря, 2006. 592с.
3. Якімов О.В. Технологія машино- та приладобудування: навчальне видання. Луцьк, 2005. 710с.
4. Чумак М.Г. Матеріали та технологія машинобудування. К.: Лебідь, 2000. 368 с.
5. Рудь В.Д., Божко Т.Є., Гальчук Т.Н. Методологія підготовки випускної роботи за спеціальністю 131- Прикладна механіка: навчальний посібник. Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2017. 487с.
6. Курсове проектування з технології машинобудування. URS: https://fileskachat.com/file/75472_d78bc7ca0b0c16955669b2bf4a1d3c77.html

7. Рудь В.Д. Курсове проектування з технології машинобудування: навчальний посібник. К.: ІСДО, 1996. 300с
8. Бондаренко С.Г. Розмірні розрахунки механоскладального виробництва: навчальний посібник. К., 2003. 502с.
9. Григурко І.О. Технологія машинобудування (дипломне проектування): навчальний посібник. Львів: Новий світ-2000, 2008. 770 с.
10. Обработка металлов резанием: справочник технолога. М.: Машиностроение, 2004. 784 с.
11. Ревнівцев М. П., Паршина Н. П. Режимы резания на металлообрабатывающих станках в машиностроении: навч. посіб. К. : А.С.К., 2006. 416 с.

Т38 Технологія виготовлення механічних компонентів робототехніки [Текст]: Методичні вказівки до практичних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ОП «Металообробне обладнання та роботизовані виробничі системи» галузі знань 13 Механічна інженерія спеціальності 131 Прикладна механіка денної та заочної форм навчання / уклад. Т.Н. Гальчук. – Луцьк: ЛНТУ, 2025. – 44 с.

У виданні подано теоретичний матеріал за тематикою планування практичних занять з дисципліни «Технологія виготовлення механічних компонентів робототехніки», методику розрахунку технологічних задач, наведено приклади, довідникові дані.

Призначене для здобувачів вищої освіти спеціальності 131 Прикладна механіка освітньої програми «Металообробне обладнання та роботизовані виробничі системи».

Комп'ютерний набір

Т.Н. Гальчук

Редактор

Т.Н. Гальчук

Підп. до друку 1 .01. 2025р.
Формат 60x84/16. Папір офс. Гарнітура Таймс.
Ум. друк. арк. 2,75. Тираж 50 прим. Зам.

Відділ іміджу та промоції
Луцького національного технічного університету
43018 м. Луцьк, вул. Львівська, 75
Друк – ВІП ЛНТУ