

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО
МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**



**Кафедра ОПХВ
імені професора Ф.Ю. Ялпачика**

РОЗРАХУНОК ВДОСКОНАЛЕНОЇ МАШИНИ

Методичні вказівки
до виконання III розділу дипломного проєкту
для здобувачів рівня вищої освіти «Бакалавр»
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
за ОПП «Галузеве машинобудування»

Мелітополь
2021

Розрахунок вдосконаленої машини. Методичні вказівки до виконання розділу дипломного проєкту для здобувачів рівня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» за ОПП «Галузеве машинобудування». Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, факультет МТФ, кафедра ОПХВ імені професора Ф.Ю. Ялпачика. Оновлена редакція Мелітополь: ТДАТУ, 2021. – 31с.

Розробники: зав. кафедри ОПХВ імені професора Ф.Ю. Ялпачика
д.т.н, професор Самойчук К.О.,
доценти кафедри ОПХВ імені професора Ф.Ю. Ялпачика:
к.т.н. Олексієнко В.О.;
зав. кафедри ТКМ к.т.н., доцент Пеньов О.В.;
асистент кафедри ОПХВ імені професора Ф.Ю.Ялпачика:
Пупинін А.А.

Рецензент: доктор технічних наук, професор кафедри «Мехатронні системи та транспортні технології» Волошина А.А.

Розглянуто і затверджено на засіданні
кафедри ОПХВ імені професора Ф.Ю. Ялпачика
Протокол № ____ від _____ 2021р.

Зав. каф., д.т.н., професор

Кирило САМОЙЧУК

Рекомендовано методичною комісією факультету «МТФ»
Протокол № ____ від _____ 2021р

КОМПОНОВКА III РОЗДІЛУ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

Третій розділ включає наступні пункти:

- визначення основних конструктивних параметрів вузла, кінематичних та енергетичних показників роботи обладнання;
- розрахунок на міцність відповідальних деталей, що дозволяє обґрунтувати конструктивну схему і основні параметри машини;
- технологію виготовлення відповідальних деталей, вибір заготовки, розрахунки режимів обробки та необхідне металообробне обладнання;

3.1 Технологічний розрахунок параметрів машини (вузла)

Технологічний розрахунок визначається порядком виконання операцій, типом і розміщенням робочих органів та повинен забезпечувати відповідну, взаємопов'язану продуктивність окремих робочих та допоміжних органів машини, безперервний технологічний процес.

Опираючись на конструктивно-технологічну схему вдосконаленої машини, визначають її продуктивність і розраховують основні параметри і режими роботи.

Основою багатьох технологічних процесів є використання машин і апаратів.

Машина - це пристрій, складені елементи якого узгоджено функціонують або виконують певні доцільні технологічні рухи з метою перетворення енергії, матеріалу, інформації й т. п. При цьому серед основних структурних складових відзначають:

- рушійний елемент для перетворення одного виду енергії в другую;
- виконавчий або робочий елемент для забезпечення основної технологічної дії;
- передавальний елемент для передачі енергії від рушійного механізму до виконавчого (робітникові).

У переробних машинах для привода робочих (виконавчих) механізмів насамперед використовуються електродвигуни змінний однофазний або трифазний токи з короткозамкненим ротором, асинхронні; рідше - електродвигуни постійного струму. Особлива увага при виборі електродвигуна привода необхідно звертати на його виконання залежно від умов технологічного процесу: закритий захисний, закритий, краплі захисний й т. п.

Передавальні механізми містять механічні, гідравлічні, пневматичні

або комбіновані передачі, які надають руху й реалізують керування виконавчими органами машини. Сукупність рушійного й передавального механізму створює приводний пристрій, або привод машини. При цьому механізми для регулювання й контролю за робочими режимами технологічного встаткування іноді працюють як окремі ланки.

Виконавчі механізми містять такі основні елементи:

- робочий інструмент, або робочі органи як основна ланка;
- ведена ланка, що зв'язує робочі органи із приводним пристроєм;
- робочу камеру із завантажувальними й розвантажувальними пристроями.

Серед основних розрахункових методик будь-якого виробничого процесу можна виділити технологічні, конструктивні й кінематичні (гідравлічні, теплові й ін.).

Технологічні розрахунки, як правило, полягають у розрахунку технологічної продуктивності машини із заданих параметрів.

Для машин періодичної дії продуктивність у загальному виді можна визначити по формулах:

$$Q = \frac{k \cdot V}{t_p}, \text{м}^3 / \text{год} \quad (3.1)$$

$$\text{або} \quad Q = \frac{k \cdot V \cdot \rho_n}{t_p}, \text{кг} / \text{год} \quad (3.2)$$

де V – геометрична ємність робочої камери, м^3 ;

k – коефіцієнт заповнення робочої камери;

ρ_n – щільність оброблюваної сировини, $\text{кг}/\text{м}^3$;

t_p – технологічний час обробки сировини в машині, година.

Продуктивність машин безперервної дії в більшості випадків визначається особливостями конструктивною й технологічною схемами процесу й устаткування. У загальному виді формули продуктивності мають вигляд

$$Q = S_n \cdot v_n = \frac{S_n \cdot l_p}{t_h}, \text{м}^3 / \text{с} \quad (3.3)$$

$$\text{або} \quad Q = S_n \cdot \rho_n \cdot v_n = \frac{S_n \cdot l_p \cdot \rho_n}{t_h}, \text{кг} / \text{с} \quad (3.4)$$

де S_n – площа поперечного перерізу продуктового потоку, м^2 ;

l_p – довжина робочої камери, м;

v_g – середня швидкість продуктового потоку, $\text{м}/\text{с}$.

Для особливих технологічних процесів розроблений ряд методичних посібників для визначення продуктивності машин.

Приклад виконання підрозділу 3.1 наведено у додатку А.

3.2 Енергетичний розрахунок машини (вузла)

У енергетичному розрахунку визначається потужність, яка необхідна для привода заданої машини в загальному виді. Її можна розрахувати по формулі:

$$N = k(N_1 + N_2 + N_3) / \eta_n, \text{ кВт}, \quad (3.5)$$

де $k = 1,5$ – коефіцієнт запасу потужності;

η_n – механічний ККД привода ($\eta_n = 0,85 \dots 0,90$),

N_1, N_2, N_3 – відповідно потужність витрачена на переміщення продукту, на його обробку (подрібнення, перетирання, дроблення й т.п.), на втрати в приводі й ін.

Для розрахунку потужності конкретних машин необхідно скористатися методичними вказівками й спеціальною літературою.

По розрахунковій потужності вибираємо електродвигун або мотор - редуктор.

Розрахунок необхідно погоджувати із заданими кінематичними параметрами робочих органів і розрахункових значень потужності. Узгодження ведуть через вибір мотор - редуктора, редуктора (циліндричного, конічного, черв'ячного), ланцюгової або пасової передач із використанням муфт і запобіжних механізмів.

Приклад виконання підрозділу 3.2 наведено у додатку Б.

3.3 Розрахунок на міцність відповідальних деталей машини (вузла)

Найбільш розповсюдженим методом оцінки міцності деталей машин є порівняння розрахункових напружень, які виникають у деталях при дії експлуатаційних навантажень, із допустимими напруженнями для матеріалу цих деталей.

У загальному вигляді умови міцності записують такими співвідношеннями:

$$\sigma \leq [\sigma] \text{ або } \tau \leq [\tau]$$

де $\sigma, [\sigma]$, відповідно розрахункове і допустиме нормальне напруження;

$\tau, [\tau]$ - те ж саме, дотичне напруження.

Розрахункове напруження визначається залежно від виду деформації и

небезпечному перерізі деталі.

Приклад виконання підрозділу 3.3 наведено у додатку В.

3.4 Розробка технології виготовлення деталі

Розробка технологічного процесу (ТП) виготовлення деталі оформлюється як 10 - 15 сторінок пояснювальної записки, яка повинна містити:

- аналіз вихідних даних, необхідних для проектування ТП;
- визначення типу виробництва;
- вибір виду заготовки;
- розробку маршрутної технології виготовлення деталі із зазначенням обладнання, пристосувань, ріжучого і вимірювального інструменту;
- розрахунки режимів різання по кількох переходах;
- розробку і оформлення технологічної документації.

Більш докладніша інформація наведена в методичних вказівках до виконання підрозділу дипломного проєкту «Розробка технології виготовлення деталі».

Приклад виконання підрозділу 3.4 наведено у додатку Г.

Додаток А (довідковий)

Приклад оформлення підрозділу 3.1 дипломного проєкту

3.1 Технологічний розрахунок параметрів тістоділильної машини

Основними даними для визначення розмірів робочих органів тістоділильної машини є задана продуктивність і маса шматків тіста, що отримуються від машини. Всі тістоділильні машини повинні забезпечувати отримання шматків тіста з заданою масою від ***max*** до ***min***.

В тістоділильних машинах зі шнековими нагнітачами тіста основним робочим органом є шнек, розміри якого, виходячи з дослідних даних, слід приймати в наступних межах, мм: діаметр 150-250; шаг 120-200; діаметр вихідного отвору мундштуку 90-120. Число обертань шнеку 30-60 хв⁻¹, в залежності від заданої продуктивності і маси шматків тіста.

При нагнітанні пшеничного тіста тиск в нагнітальній камері повинен складати 0,05-0,125 Мн/м²; але не перевищувати 0,15 Мн/м²; бо при тиску біля 0,25 Мн/м² пшеничне тісто переущільнюється і виріб з такого тіста виходить низької якості. При нагнітанні житнього тіста тиск у камері повинен бути не менш 0,02 Мн/м².

Задаємося конструктивними розмірами машини (згідно машини-аналога):

Діаметр шнеку $D=0,2\text{м}$;

Діаметр валу шнеку $d=0,15\text{м}$;

Шнековий шаг $t=0,15\text{м}$;

Число обертань шнеку $n=50\text{хв}^{-1}$;

Об'ємна маса тіста $\rho=800\text{кг/м}^3$;

Об'ємний коефіцієнт шнека $R=0,3$;

Робочий тиск в мундштуці $P=0,1\text{ Мн/м}^2$;

Довжина ріжучої кромки ножа $L=0,1\text{м}$;

Швидкість різання $V=15\text{м/с}$.

Продуктивність тістоділильної машини визначаємо за формулою:

$$\Pi_{\text{м}} = z\pi(D^2 - d^2)tn\rho R / 4, \quad (3.1.1)$$

де z - число шнеків;

D - діаметр шнеку, м;

d - діаметр валу шнеку, м;

t - шаг шнеку, м;

n - число обертань шнеку, хв⁻¹;

ρ - об'ємна маса тіста, кг/м³;

R - об'ємний коефіцієнт подачі шнеку.

$$\Pi_m = 3,14(0,2^2 - 0,05^2) \cdot 0,15 \cdot 50 \cdot 800 \cdot 0,3 / 4 = 52,5 \text{ кг} / \text{хв}$$

Час роботи машина за добу визначаємо за формулою:

$$t = M_m / \Pi_m, \quad (3.1.2)$$

де M_m - маса тіста, кг;

Π_m - продуктивність машини, кг/хв.

$$t = 1752,360 / 52,5 = 33,38 \text{ хв}$$

Конструктивні розрахунки необхідні для визначення основних розмірів робочих органів машини (діаметр шнека, довжина й діаметр лопатки, розміри завантажувального вікна й ін.), які використовуються при кресленні виду загального машини. Для розрахунку конструктивних параметрів машин варто також скористатися методичними вказівками для інженерного розрахунку параметрів переробних машин.

Приклад конструктивного розрахунку шнекового формовника вовчку

Приймаємо:

- продуктивність шнекового пристрою $\Pi=0,06 \text{ кг/зм.}$;
- максимальний тиск $P=150 \text{ кПа}$;
- коефіцієнт внутрішнього тертя продукту $f=0,3$;
- щільність продукту;
- зовнішній діаметр шнека 130 мм .

Крок витків шнека, мм:

$$H = 0,8 \cdot D, \quad (3.1.3)$$

$$H = 0,8 \cdot 130 = 104$$

Граничний діаметр валу шнека, мм:

$$d_{np} = \left(\frac{H}{\pi} \right) \cdot \text{tg} \phi, \quad (3.1.4)$$

де $f = \text{tg} \phi = 0,3$

$$d_{np} = \frac{104}{3,14} \cdot 0,3 = 10 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр валу шнека рівним 50мм ($a=2,6$).

Кінематичні розрахунки полягають у виборі електродвигуна на основі отриманої теоретичної потужності на привод робочих органів і компонування самого привода з вибором кінематичних елементів (редуктор, ланцюгова або пасова передача, муфти й ін.).

За структурою кінематичного циклу машини бувають періодичної й безперервної дії.

Приклад кінематичного розрахунку соковитискача

Кінематична схема соковитискача представляє собою механізм, який передає механічну енергію від мотор-редуктора через зубчасту передачу на вал пресую чого шнека, та через ланцюгову передачу на транспортуєчий шнек.

1) Загальний К.К.Д. приводу визначається за формулою [6]:

$$\eta_{\text{заг.}} = \eta_m \cdot \eta_z, \quad (3.1.5)$$

де η_m - К.К.Д. мотор-редуктора:

$$\eta_m = 0,95 \text{ [7]}$$

η_z - К.К.Д. зубчастої передачі:

$$\eta_z = 0,95 \text{ [7]}$$

$$\eta_{\text{заг.}} = 0,95 \cdot 0,95 = 0,9$$

2) Потужність приводу

При розрахунку потужності електродвигуна для приводу шнекового пресу безперервної дії потрібно враховувати, що енергія витрачається в основному на стиснення та роздавлювання продукту вздовж осі шнеку.

$$P = P_1 + P_2, \quad (3.1.6)$$

де P_1 - енергія, що витрачається на стиснення продукту, Вт;

P_2 - енергія, що витрачається на переміщення продукту, Вт.

Кількість енергії, яка витрачається на стиснення та роздавлювання продукту, визначається за формулою [6]:

$$P_1 = \frac{\pi(d_0^2 - d_1^2)}{4} \cdot \frac{n \cdot \Delta t}{60} \cdot q_{\text{max}} \cdot (1 + 2 + 3 + \dots + z), \quad (3.1.7)$$

де d_0 - зовнішній діаметр шнека, м;

d_1 - внутрішній діаметр шнека, м;

Δt - різниця між розмірами кроків двох шнеків, м;

z - число витків шнека;

n - число обертів шнека, об/хв.;

q_{max} - максимальний тиск на продукт, необхідний для пресування, Па:

$$q_{\text{max}} = 0,8 \dots 1,2 \text{ МПа } [\dots].$$

$$P_1 = \frac{3,14 \cdot (0,28^2 - 0,13^2)}{4} \cdot \frac{3,47 \cdot 0,05}{60} \cdot 1,2 \cdot 10^6 \cdot (1 + 2 + 3 + 4 + 5) = 2514 \text{ Вт}$$

Кількість енергії P_2 , необхідної для переміщення продукту, що обробляється

(надання йому кінетичної енергії $\frac{mv^2}{2}$), уздовж осі шнека, визначається по формулі [6]:

$$P_2 = \frac{mv^2}{2} = \frac{Q}{2 \cdot 3600 \cdot q} \cdot \frac{S^2 \cdot n^2}{60^2} = 2,6 \cdot Q \cdot S^2 \cdot n^2, \quad (3.1.8)$$

де Q - маса продукту, що переробляє машина за годину, кг/год.

$$P_2 = 2,6 \cdot 1800 \cdot 0,1^2 \cdot 6,56^2 = 2014 \text{ Вт}$$

Загальна потужність приводу дорівнює:

$$P = 2514 + 2014 = 4528 \text{ Вт}$$

3) Потрібна потужність електродвигуна визначається за формулою [6]:

$$P_e = \frac{P}{\eta_{\text{заг.}}}, \quad (3.1.9)$$

$$P_e = \frac{4528}{0,9} = 5031 \text{ Вт}$$

На основі проведених розрахунків вибирається мотор-редуктор типу МПЗ2-80:

$$N_{\text{ел.}} = 5 \text{ кВт},$$

$$n_{\text{тих.}} = 22,4 \text{ хв}^{-1}$$

$$n_{\text{ел.}} = 960 \text{ хв}^{-1}$$

Розрахунок зубчастої передачі.

Передатне число передачі [6]:

$$U_{\text{пр.шнек}} = \frac{n_m}{n_{\text{н.ш}}}, \quad (3.1.10)$$

де $U_{\text{пр.шнек}}$ - передатне число передачі, яка передає обертання на шнек, що пресує;

n_m - частота обертання тихохідного валу мотор-редуктора, хв^{-1} ;

$n_{\text{н.ш}}$ - частота обертання шнека, що пресує, хв^{-1} .

$$U_{\text{пр.шнек}} = \frac{22,4}{3,47} = 6,5$$

Потужність на валу визначається по формулі [8]:

$$P_{\text{н.ш.}} = P_{\text{дв.}} \cdot \eta_z \cdot \eta_m, \quad (3.1.11)$$

де $P_{\text{н.ш.}}$ - потужність на валу шнека, що пресує, кВт;

$P_{\text{дв.}}$ - потужність електродвигуна мотор-редуктора, кВт;

η_z - К.К.Д. зубчастої передачі;

η_m - К.К.Д. мотор-редуктора.

$$P_{n.ш.} = 5,0 \cdot 0,97 \cdot 0,95 = 4,6 \text{ кВт}$$

Обертаючий момент на валу шнека, що пресує визначається за формулою [8]:

$$T_{n.ш.} = \frac{P_{n.ш.}}{\omega_{n.ш.}}, \quad (3.1.12)$$

де $\omega_{n.ш.}$ - кутова швидкість шнека, що пресує, с^{-1} .

$$T_{n.ш.} = \frac{4,6 \cdot 10^3}{0,36} = 12799 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Міжосьова відстань визначається з умови [...]:

$$a_w \geq K_a \cdot (U \pm 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{K_{H\beta} \cdot T_{HE_2}}{\psi_a \cdot u^2 \cdot [\sigma]_H}}, \quad (3.1.13)$$

де K_a - коефіцієнт, для прямозубих передач:

$$K_a = 4950 [7];$$

$K_{H\beta}$ - коефіцієнт концентрації навантаження:

$$K_{H\beta} = 1,1 \dots 1,4 [7];$$

T_{HE_2} - еквівалентний момент на колесі, $\text{Н} \cdot \text{м}$;

$[\sigma]_H$ - допустимі контактні напруження, МПа , для сталі 45:

$$[\sigma]_H = 514 \text{ МПа} [7].$$

$$T_{HE_2} = K_{HD} \cdot T_2, \quad (3.1.14)$$

де K_{HD} - коефіцієнт довговічності:

$$K_{HD} = 1,17 [7];$$

T_2 - обертаючий момент на колесі, $\text{Н} \cdot \text{м}$;

$$T_2 = \frac{T_{n.ш.}}{U_{n.ш.}}, \quad (3.1.15)$$

де $T_{n.ш.}$ - обертаючий момент на валу шнека, що пресує, $\text{Н} \cdot \text{м}$;

$U_{n.ш.}$ - передатне відношення зубчастої передачі.

$$T_2 = \frac{12799}{6,5} = 1854 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$T_{HE_2} = 1,17 \cdot 1854 = 2169 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Міжосьова відстань зубчастої передачі:

$$a_w \geq 4950 \cdot (6,5 - 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{1,2 \cdot 2169}{0,315 \cdot 6,5^2 \cdot (514 \cdot 10^6)^2}} = 0,246 \text{ м}$$

a_w округлюється до стандартного [9]:

$$a_w = 250 \text{ мм}.$$

Модуль зчеплення визначається з умови [8]:

$$\begin{aligned} m &\geq (0,01...0,02) \cdot a_w, \\ m &\geq (0,01...0,02) \cdot 250 = 5,0 \text{ мм} \end{aligned} \quad (3.1.16)$$

Приймається стандартний модуль [9]:

$$m = 10 \text{ мм}$$

Число зубів шестерні та колеса визначається по формулі [8]:

$$z_{\Sigma} = \frac{2 \cdot a_w}{m}, \quad (3.1.17)$$

де z_{Σ} - сумарне число зубів шестерні та колеса.

$$z_{\Sigma} = \frac{2 \cdot 250}{10} = 50$$

Число зубів шестерні визначається за формулою [8]:

$$z_1 = \frac{z_{\Sigma}}{U \pm 1}, \quad (3.1.18)$$

де U - передатне відношення зубчастої передачі.

$$z_1 = \frac{50}{6,5 + 1} = 7$$

Число зубів колеса визначається за формулою [8]:

$$z_2 = z_{\Sigma} - z_1, \quad (3.1.19)$$

де z_{Σ} - сумарне число зубів шестерні та колеса;

z_1 - число зубів шестерні.

$$z_2 = 50 - 7 = 43$$

Уточнюється передатне відношення, тобто визначається фактичне передатне відношення:

$$U_{\phi} = \frac{z_2}{z_1}, \quad (3.1.20)$$

$$U_{\phi} = \frac{43}{7} = 6,14$$

Геометричні параметри шестерні та колеса визначаються по формулам [8]:

- ділильні діаметри:

$$\begin{aligned} d_1 &= m \cdot z_1; \\ d_2 &= m \cdot z_2; \end{aligned} \quad (3.1.21)$$

- діаметри окружності вершин:

$$\begin{aligned} d_{a_1} &= d_1 + 2m; \\ d_{a_2} &= d_2 + 2m; \end{aligned} \quad (3.1.22)$$

- діаметри окружності западин:

$$\begin{aligned} d_{f_1} &= d_1 - 2,5m; \\ d_{f_2} &= d_2 - 2,5m; \end{aligned} \quad (3.1.23)$$

- ширина колеса:

$$b_2 = \psi_a \cdot a_w, \quad (3.1.24)$$

де ψ_a - коефіцієнт ширини колеса;

- ширина шестерні:

$$b_1 = b_2 + (3...6), \quad (3.1.25)$$

Дані розрахунків геометричних параметрів шестерні та колеса зведені до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Геометричні параметри шестерні та колеса

Елемент передачі	Параметри, у міліметрах			
	$d_{1(2)}$	$d_{a1(2)}$	$d_{f1(2)}$	$b_{1(2)}$
шестерня	70	90	45	85
колесо	430	450	405	80

Додаток Б
(довідковий)

Приклад оформлення підрозділу 3.2 дипломного проєкту

3.2 Енергетичний розрахунок тістомісильної машини з підкатною діжею

Вихідні дані для розрахунку:

- місткість діжі;
- частота обертання місильного органу навколо осі діжі;
- частота обертання місильного органу навколо власної осі.

Визначаємо вагу тіста в діжі [6]:

$$Q = \rho V, \quad (3.2.1)$$

де ρ - об'ємна вага тіста,

$$\rho = 1100 \text{ кг/м}^3$$

$$Q = 1100 \cdot 0,140 = 154 \text{ кг}$$

Потужність приводу визначаємо по формулі [8]:

$$N = N_1 + N_2 + N_3, \quad (3.2.2)$$

де N_1 - потужність, витрачена на переміщення тіста при обертанні місильного органу навколо осі діжі, кВт.

N_2 та N_3 - потужність, витрачена на переміщення тіста при обертанні місильного органу навколо власної осі, кВт.

У відповідності до:

$$N_1 = \frac{0,4 \cdot Q \cdot R_1 \cdot \omega_1 \cdot g}{1000}, \quad (3.2.3)$$

де R_1 - найбільший радіус обертання місильного органу навколо осі діжі, м,

$$R_1 = 0,34 \text{ м}$$

g - прискорення вільного падіння,

ω - кутова швидкість водила,

$$\omega = 1,416 \text{ рад/с.}$$

$$N_1 = \frac{0,4 \cdot 154 \cdot 0,34 \cdot 1,416 \cdot 9,81}{1000} = 0,29 \text{ кВт}$$

$$N_2 = \frac{0,4 \cdot Q \cdot R_2 \cdot \omega_2 \cdot g}{1000}, \quad (3.2.4)$$

$$N_3 = \frac{0,4 \cdot Q \cdot R_3 \cdot \omega_3 \cdot g}{1000}, \quad (3.2.5)$$

де R_2 - найбільший радіус місильного органу, м:

$$R_2 = 0,23 \text{ м}$$

R_3 - найменший діаметр місильного органу, м:

$$R_3 = 0,17 \text{ м}$$

ω_2 - кутова швидкість місильного органу,

$$\omega_2 = 4,34 \text{ рад / с}$$

$$N_2 = \frac{0,4 \cdot 154 \cdot 0,23 \cdot 4,34 \cdot 9,81}{1000} = 0,603 \text{ кВт}$$

$$N_3 = \frac{0,4 \cdot 154 \cdot 0,17 \cdot 4,34 \cdot 9,81}{100} = 0,446 \text{ кВт}$$

По формулі визначаємо потужність:

$$N = 0,29 + 0,603 + 0,446 = 1,339 \text{ кВт}$$

Визначаємо потужність електродвигуна [7]:

$$N_e = \frac{N}{\eta}, \quad (3.2.6)$$

де η - коефіцієнт корисної дії приводу;

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3, \quad (3.2.7)$$

де η_1 - ККД клиноремінної передачі,

η_2 - ККД зубчатої циліндричної передачі,

$$\eta_2 = 0,98$$

η_3 - ККД пари підшипників.

$$\eta = 0,96 \cdot 0,98 \cdot 0,99 = 0,903$$

$$N = \frac{1,339}{0,903} = 1,483 \text{ кВт}$$

Приймаємо двигун 4А90 L 6УЗ виконання 1М3681 ГОСТ 19523-81.

Додаток В (довідковий)

Приклади оформлення підрозділу 3.3 дипломного проєкту

3.3 Розрахунок на міцність відповідальних деталей машини (вузла)

1. Шпонкового з'єднання ножового валу кутера

Для з'єднання валу з ножами доцільно застосувати три призматичні шпонки, розташовані під кутом 120° рівномірно, так як таке розташування забезпечить взаємозамінність ножів (рис. 3.1).

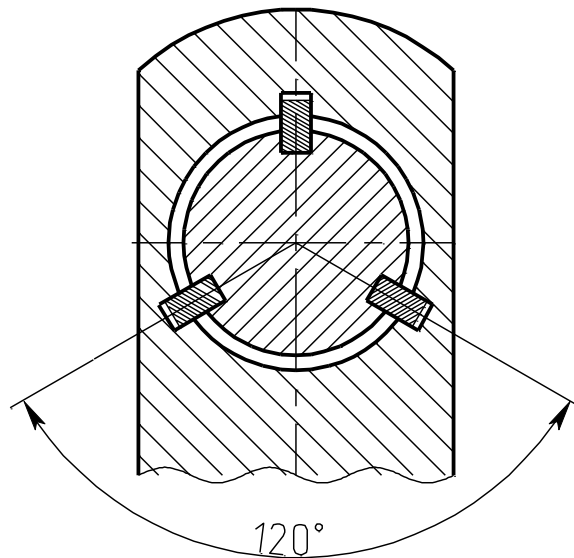


Рисунок 3.1 - Шпонкове з'єднання

Перевірка шпонки проводиться на зрізання за формулою [9]:

$$\tau_{cp} = \frac{2T}{(d \cdot l \cdot B)} \leq [\tau_{cp}], \quad (3.3.1)$$

де T - крутний момент на валу Н·мм;

d - діаметр валу в місці установки шпонки, мм;

B - ширина шпонки, мм;

l - довжина шпонки, мм;

$[\tau_{cp}]$ - допустима напруга зрізу, МПа.

Допустима напруга зрізу визначається за формулою [9]:

$$[\tau_{cp}] = 0,6 \cdot [\sigma_{зм}], \quad (3.3.2)$$

де $[\sigma_{зм}]$ - допустиме напруження зминання для матеріалу шпонки,

МПа:

$$[\sigma_{зм}] = 50$$

$$[\tau_{cp}] = 0,6 \cdot 50 = 30 \text{ МПа}$$

$$\tau_{cp} = \frac{2 \cdot 9500}{(22 \cdot 3 \cdot 5)} = 58 \text{ МПа}$$

Так як напруги розподіляються рівномірно на три шпонки, кожна шпонка приймає на себе 19 МПа, що значно менше допустимого напруги. Міцність з'єднання забезпечена.

2. Розрахунок валу центрифуги

Вал розраховується на сумісну дію вигину та кручення. В якості зовнішніх навантажень прийняти зусилля тиску на вал пасовою передачею та відцентрова сила від можливого дисбалансу центрифуги, а також обертаючий момент на валу.

Так як напрямок відцентрової сили постійно змінюється, розрахункова схема валу складається для випадку, коли обидва зусилля знаходяться у одній площині.

Розрахунок проводиться для другого режиму роботи, як найбільш динамічного.

Вихідні дані:

- момент обертаючий на валу $T, \text{Н} \cdot \text{м}$:

$$T = T_1 = 34,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

- сила тиску на вал пасовою передачею $F_Q, \text{Н} \cdot \text{м}$:

$$F_Q = 1047 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Відцентрова сила на центрифугі визначається по формулі:

$$F_u = m \cdot \omega^2 \cdot R, \quad (3.3.3)$$

де m - маса дисбалансу, кг, по технічним умовам дисбаланс не повинен перевищувати 1% від загальної маси продукту:

$$m = 1,2$$

ω - кутова швидкість центрифуги, с^{-1} :

$$\omega = \frac{\pi n_2}{30}, \quad (3.3.4)$$

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 1450}{30} = 151,8 \text{ рад} / \text{с}$$

$$F_u = 1,2 \cdot 151,8^2 \cdot 0,4 = 11061 \text{ Н}$$

Складаємо розрахункову схему валу (рис. 3.3.1).

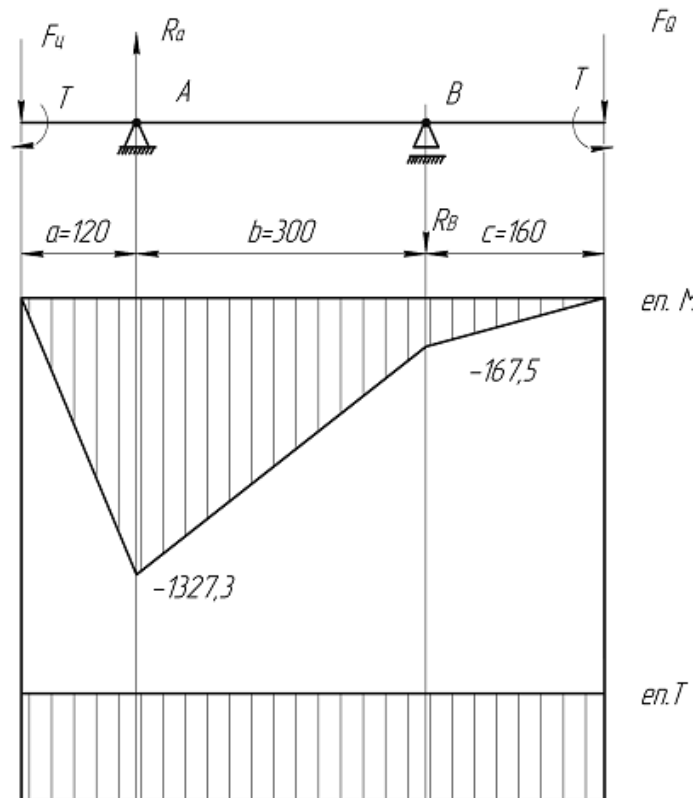


Рисунок 3.3.1 – До розрахунку валу

Опорні реакції:

$$\begin{aligned}
 \sum M_A &= 0 \\
 F_u \cdot a + R_B \cdot b - F_Q(b+c) &= 0 \\
 R_B &= \frac{F_Q(b+c) - F_u \cdot a}{b}, \\
 R_B &= \frac{1047(300+160) - 11061 \cdot 120}{300} = -2819 \text{ H}
 \end{aligned}
 \tag{3.3.5}$$

Знак «-» показує, що слід змінити напрямок реакції:

$$\begin{aligned}
 \sum M_B &= 0 \\
 F_u(a+b) - R_A \cdot b - F_Q \cdot c &= 0 \\
 R_A &= \frac{F_u(a+b) - F_Q \cdot c}{b}, \\
 R_A &= \frac{11061(120+300) - 1047 \cdot 160}{300} = 14927 \text{ H}
 \end{aligned}
 \tag{3.3.6}$$

Перевірка

$$\begin{aligned}
 \sum y &= 0 \\
 -11061 + 14927 - 2819 - 1047 &= 0
 \end{aligned}$$

Вигинаючи моменти:

$$\begin{aligned} M_{UA} &= -F_u \cdot a = -11061 \cdot 0,12 = -1327,3 \text{ Н} \cdot \text{м} \\ M_{UB} &= -F_Q \cdot c = -1047 \cdot 0,16 = -167,5 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned} \quad (3.3.7)$$

Еквівалентний момент для перерізу А (більш навантаженого):

$$\begin{aligned} M_{екв} &= \sqrt{M_{UA}^2 + 0,75T}, \\ M_{екв} &= \sqrt{1327,3^2 + 0,75 \cdot 34,9^2} = 1327,6 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned} \quad (3.3.8)$$

Діаметр валу в перерізі А:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M_{екв}}{0,1[\sigma]_U}}, \quad (3.3.9)$$

де $[\sigma]_U$ - допустиме напруження вигину для валу з легованої сталі:

$$[\sigma]_U = 60 \dots 80 \text{ МПа}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{1327,6 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 70}} = 57,45 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр валу в точці А під підшипником **$d = 60 \text{ мм}$** , інші діаметри назначаються з конструктивних зображень.

Додаток Г (довідковий)

Розробка технології виготовлення деталі «Диск ведучий»

3.4.1 Аналіз вихідних даних

Опис конструктивних особливостей деталі.

Дана деталь – диск ведучий (ескіз на рисунку 3.4.1, креслення на аркуші 5 графічної частини проєкту), відноситься до деталей класу 40 – тіла обертання, підклас 40.1000 [9].

$$\sqrt{Ra\ 12,5\ (\checkmark)}$$

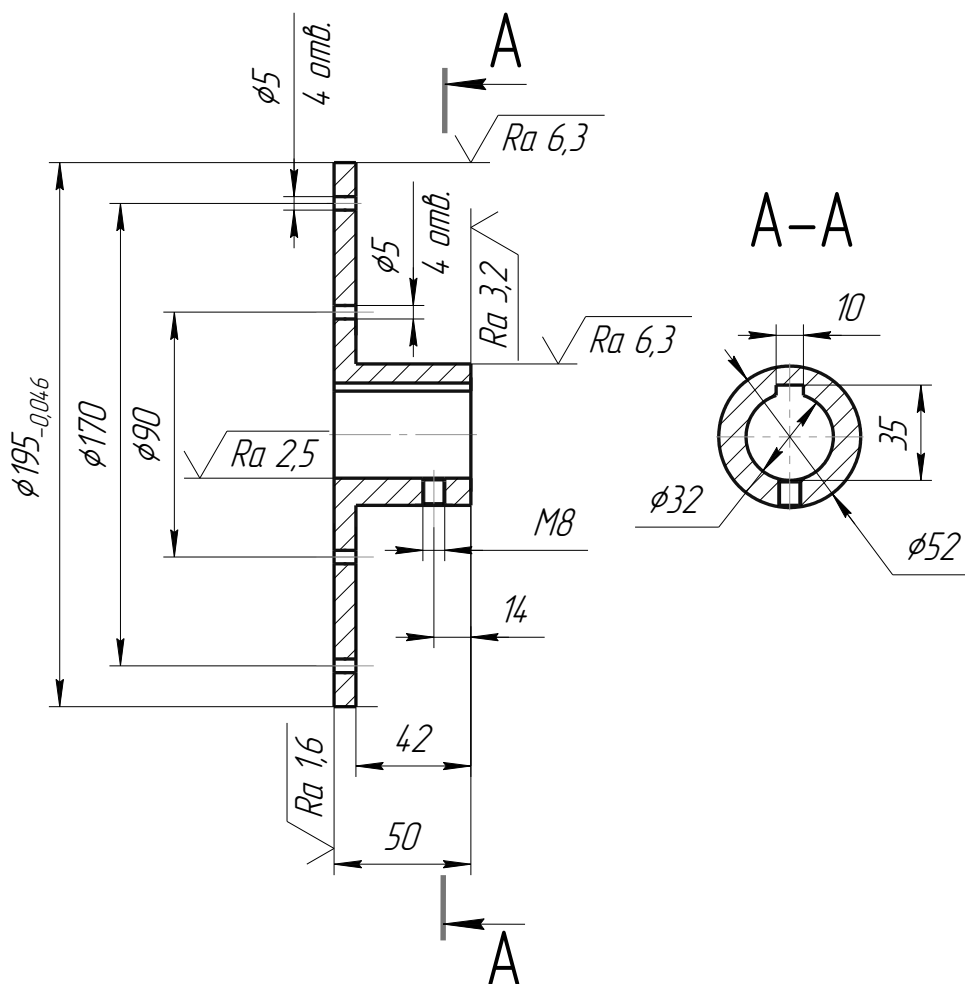


Рисунок 3.4.1 – Ескіз деталі – «Диск ведучий»

Головною базою деталі є вісь, відносно якої ведеться її подальша обробка. Площа поверхні деталі, що має діаметр 195мм, являється найбільшим діаметром деталі, що дозволяє брати його за розрахунковий

для вибору заготовки. Ця поверхня обробляється з точністю до 7-го квалітету і шорсткістю $R_a=6,3$ мкм.

Поверхня, що має внутрішній діаметр 32мм, є посадкою із натягом під вал, тому обробляється з точністю до 6-го квалітету і має шорсткість 2,5мкм.

Поверхня площини діаметром 195мм являється суміжною з фрикційними накладками, тому обробляється з точністю до 6-го квалітету і має шорсткість 1,6мкм.

Не вказані поверхні деталі обробляються з точністю до 11-го квалітету і шорсткістю $R_a=12,5$ мкм.

Радіальне биття поверхні деталі щодо базової осі не повинне перевищувати 0,01мм

Деталь виготовляється з сортової конструкційної сталі 35 ГОСТ 1050-88 ($\sigma_y=750$ МПа), за відсутністю матеріал може бути замінений на сталь 40 ГОСТ 1050-88 [9].

3.4.2 Обґрунтування типу виробництва

Виходячи з невеликого об'єму удосконалення машини ($N<10$ шт.) і маси деталі ($m=1,8$) приймаємо тип виробництва – одиничний [9].

3.4.3 Вибір виду заготовки, призначення припусків і граничних відхилень розмірів

Виходячи з креслення деталі і типу виробництва в якості заготовки вибираємо гарячекатаний круглий прокат за ГОСТ 2590-2006.

Розміри поверхонь заготовки визначаються як сума (різниця для охоплюваних поверхонь) номінального розміру деталі і між операційних припусків на механічну обробку [9].

Круги по сортаменту вибирають по зовнішньому діаметру. Виходячи з креслення деталі для зовнішньої поверхні деталі передбачається:

- напівчистове точіння ($\varnothing 195h7$, $R_a=6,3$ мкм).

Припуск на напівчистове точіння [10]:

$$h_{н.чист.} = 2 \text{ мм}$$

Тому що $\varnothing 195$ мм і довжина оброблюваної поверхні 8мм.

Проміжний діаметр, мм:

$$\begin{aligned} d_1 &= d_{дет} + h_{н.чист.}, \\ d_1 &= 195 + 2 = 197 \text{ мм} \end{aligned} \quad (3.4.1)$$

- чорнове точіння – виконується перед напівчистовим.

Припуск на чорнове точіння :

$$h_{\text{чорн}} = 2 \text{ мм}$$

Тому що Ø195мм і довжина оброблюваної поверхні 8мм.

Проміжний діаметр (зовнішній діаметр круга), мм

$$d_2 = d_{\text{зовн}} = d_1 + h_{\text{чорн}}, \quad (3.4.2)$$

$$d_{\text{зовн}} = 197 + 2 = 199 \text{ мм}$$

По сортаменту [12] приймаємо зовнішній діаметр близький до розрахункового:

$$d_{\text{зовн.}} = 200 \text{ мм}$$

Граничні відхилення на отриманий розмір [11]:

$$d_{\text{зовн.}} = 200_{-1,15} \text{ мм}$$

За результатами розрахунків у якості заготовки приймаємо круг 200-В ГОСТ 2590-2006.

Визначення довжини заготовки проводиться з урахуванням двосторонніх припусків на підрізання торців.

Припуск на підрізання торців при діаметрі 200мм і довжині до 1000мм [10]:

$$h_{\text{підр.}} = 3 \text{ мм}$$

Тоді довжина заготовки, мм:

$$L_{\text{загот}} = L_{\text{дет}} + 2h_{\text{підр.}}, \quad (3.4.3)$$

$$L_{\text{загот.}} = 50 + 2 \cdot 3 = 56 \text{ мм}$$

Граничні відхилення на довжину заготовки при точності відрізки заготовки у системі валу h14 складуть:

$$L_{\text{загот.}} = 56_{-0,74} \text{ мм}$$

Розрахункова маси заготовки:

$$m_{\text{заг}} = m_{\text{ног}} \cdot L_{\text{загот}}, \quad (3.4.4)$$

де $m_{\text{ног}}$ - маса одного погонного метра обраного круга, кг [12]:

$$m_{\text{ног}} = 244$$

$$m_{\text{заг}} = 244 \cdot 0,056 = 13,6 \text{ кг}$$

Коефіцієнт використання матеріалу заготовки:

$$\eta_{\text{м}} = \frac{m_{\text{дет}}}{m_{\text{заг}}}, \quad (3.4.5)$$

$$\eta_{\text{м}} = \frac{1,8}{13,6} \approx 1,35$$

3.4.4 Розробка плану механічної обробки

На рисунку 3.4.2 показані поверхні деталі, які обробляються під час виготовлення:

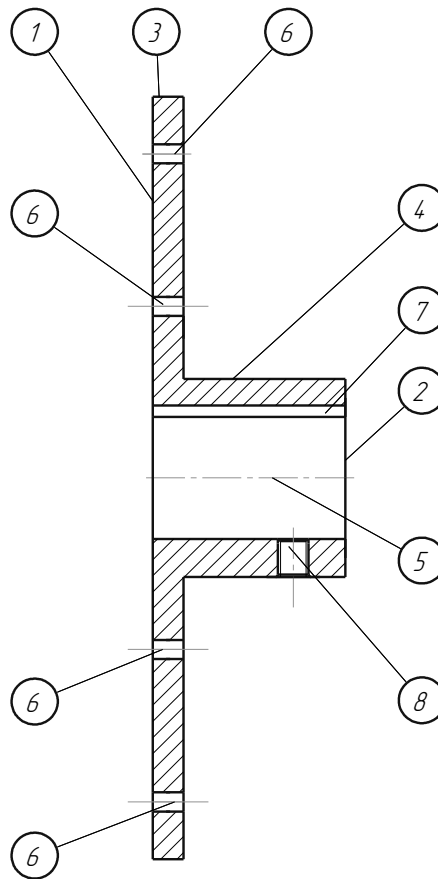


Рисунок 3.4.2 – План обробки

- поверхні 1, 2 – відрізання заготовки, чорнове і чистове підрізання торців;
- поверхні 3, 4 – чорнове і чистове зовнішнє точіння;
- поверхня 5 – свердління отвору, напівчистове та чистове розточування;
- поверхні 6 – свердління отворів діаметром 5мм;
- поверхня 7 – довбання шпонкового пазу;
- поверхня 8 – свердління отвору, нарізання внутрішньої різьби

3.4.5 Розробка маршрутної карти

На підставі плану обробки приймаємо наступний маршрут виготовлення деталі:

Операція 005. Токарно-гвинторізна.

Обладнання: верстат токарно-гвинторізний 1К62.

Пристосування, оснастка, інструмент: патрон 3-х кулачковий, різці: відрізний, підрізний.

Переходи: відрізання заготовки, підрізання торців.

Операція 010. Токарно-гвинторізна.

Обладнання: верстат токарно-гвинторізний 1К62.

Пристосування, оснастка, інструмент: патрон 3-х кулачковий, різець прохідний.

Переходи: точіння зовнішніх поверхонь.

Операція 015. Токарно-гвинторізна.

Обладнання: верстат токарно-гвинторізний 1К62.

Пристосування, оснастка, інструмент: патрон 3-х кулачковий, свердло спіральне діаметром 28мм, конус Морзе №1, патрон задньої бабки.

Переходи: свердління отвору.

Операція 020. Токарно-гвинторізна.

Обладнання: верстат токарно-гвинторізний 1К62.

Пристосування, оснастка, інструмент: патрон 3-х кулачковий, різець розточний.

Переходи: розточування поверхні.

Операція 025. Свердлильна.

Обладнання: верстат вертикально-свердлильний 2А125.

Пристосування, оснастка, інструмент: патрон свердлильний, свердло спіральне діаметр 5мм., стіл з ділильною головкою.

Переходи: свердління отворів.

Операція 030. Довбальна.

Обладнання: верстат довбальний 743

Пристосування, оснастка, інструмент: лещата машинні пневматичні з установочними призмами, довбляк.

Переходи: довбання шпонкового пазу.

Операція 035. Свердлильна.

Обладнання: верстат вертикально-свердлильний 2А125.

Пристосування, оснастка, інструмент: патрон свердлильний, свердло спіральне діаметр 6,75мм., лещата машинні пневматичні з установочними призмами.

Переходи: свердління отворів.

Операція 040. Слюсарна.

Обладнання: верстак слюсарний.

Пристосування, оснастка, інструмент: інструмент для нарізання внутрішньої різьби, мастило.

Перехід: нарізання внутрішньої різьби.

Операція 045. Контрольна.

Обладнання: стіл контрольний СД 3702-08.

Контроль всіх параметрів оброблених поверхонь деталі.

3.4.6 Розрахунок режимів механічної обробки

Операція 005. Перехід 1.02. Підрізати торець заготовки діаметром 200мм на 3мм (рис. 3.4.3).

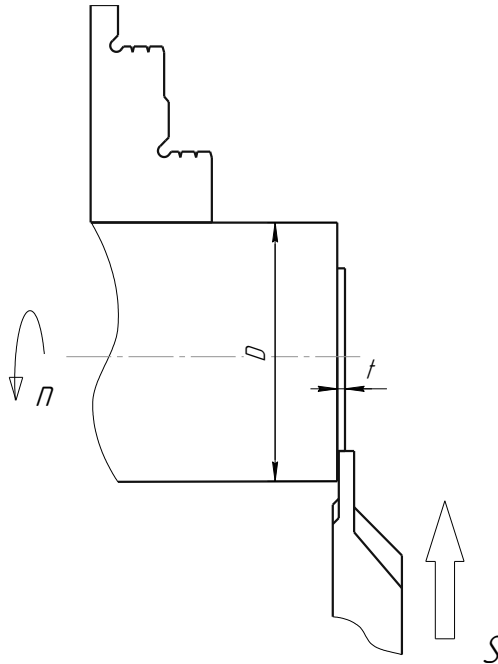


Рисунок 3.4.3 Розрахункова схема переходу

Вихідні дані:

$D=200\text{мм}$, $t=3\text{мм}$

Різець відрізний **$T15K6$** , ширина різця **4мм** .

Сталь **35** , **$\sigma_B=750\text{МПа}$** .

Верстат **$1K62$** , **$N_{дв}=10\text{кВт}$** .

Для досягнення заданої чистоти поверхні **$Ra=6,3\text{мкм}$** обираємо напівчистову обробку.

Таблична подача, мм/об [13]:

$$S_T = 0,11 \dots 0,14$$

Приймаємо **$S_\phi = 0,12\text{мм} / \text{об}$** (1K62)

Швидкість різання.

Таблична швидкість різання, [13]:

$$V_T = 253\text{м} / \text{хв} .$$

Виправлена швидкість різання, м/хв.:

$$V_B = k \cdot V_T, \quad (3.4.6)$$

де k - поправочний коефіцієнт, для відрізного різця:

$$k = 0,8 [11]$$

$$V_B = 0,8 \cdot 253 = 202,4\text{м} / \text{хв}$$

Частота обертання шпинделя.

Розрахункова частота обертання шпинделя:

$$n_p = \frac{1000 \cdot V_B}{\pi \cdot D}, \quad (3.4.7)$$

$$n_p = \frac{1000 \cdot 202,4}{3,14 \cdot 200} = 323 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо $n_\phi = 315 \text{ хв}^{-1}$ (1К62)

Визначаємо фактичну швидкість різання:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \quad (3.4.8)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 200 \cdot 315}{1000} = 197,82 \text{ м / хв}$$

Основний час, хв.:

$$T_0 = \frac{L}{n \cdot S} \cdot i, \quad (3.4.9)$$

де L - довжина різання, мм:

$$L = \frac{D}{2},$$

$$L = \frac{200}{2} = 100 \text{ мм}$$

$$T = \frac{100}{315 \cdot 0,12} \cdot 1 = 2,64 \text{ хв}$$

Операція 010. Перехід 2.02. Проточити заготовку з діаметра 195мм до діаметра 52мм на довжину 42мм (рис. 3.4.4).

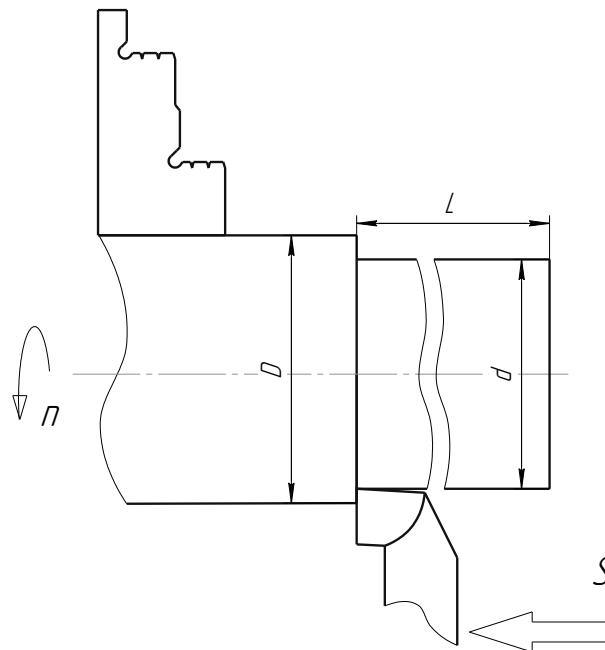


Рисунок 3.4.4 - Розрахункова схема переходу

Вихідні дані:

$D=195$, $d=52\text{мм}$, $L=42\text{мм}$, припуск $h=71,5\text{мм}$.

Різець прохідний упорний $T15K6$, $\varphi=90^\circ$; $r=1\text{мм}$, розміри стержня різця $30 \times 30\text{мм}$

Матеріал деталі *сталь 35*, $\sigma_B=750 \text{ МПа}$

Верстат токарно-гвинторізний $1K62$ $N_{ДВ}=10\text{кВт}$, патрон 3-х кулачковий самоцентрувальний.

Глибина різання, мм [9]:

$$t = \frac{D - d}{2 \cdot i}, \quad (3.4.10)$$

Припуск зрізуємо за п'ятдесят проходів ($Ra=6,3$).

$$t_m = \frac{195 - 52}{2 \cdot 50} = 1,43\text{мм}$$

Величина табличної подачі [13]:

$$S_T = 0,3 \dots 0,4 \text{ мм / об}$$

По паспорту верстата 1K62 величина поздовжньої подачі:

$$S_\phi = 0,34 \text{ мм / об}$$

Розрахункова швидкість різання [9]:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S_\phi^y} \cdot K_v, \quad (3.4.11)$$

де C_v - коефіцієнт:

$$C_v = 350$$

x, y, m - показники степені [11]:

$$x = 0,15; y = 0,35; m = 0,20$$

T - стійкість інструменту, хв.:

$$T = 30 \dots 60$$

K_v - поправочний коефіцієнт [11]:

$$K_v = K_M \cdot K_n \cdot K_u \cdot K_\phi, \quad (3.4.12)$$

де K_M - коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу заготовки;

K_n - коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки;

K_u - коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту;

K_ϕ - коефіцієнт, що враховує вплив головного кута в плані.

$$K_M = K_r \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v}, \quad (3.4.13)$$

де K_r - коефіцієнт, що враховує групу сталі;

n_v - показник степені.

$$K_M = 1 \cdot \left(\frac{750}{520} \right)^1 = 1,4$$

Значення коефіцієнтів K_n, K_u, K_ϕ визначаються за даними [11].

$$K_v = 1,4 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 = 0,98$$

Тоді
$$V = \frac{350}{60^{0,2} \cdot 3^{0,15} \cdot 0,34^{0,35}} \cdot 0,98 = 187,1 \text{ м / хв}$$

Розрахункова частота обертання деталі, хв^{-1} :

$$n_p = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \quad (3.4.14)$$

$$n_p = \frac{1000 \cdot 187,1}{3,14 \cdot 195} = 305,6 \text{ хв}^{-1}$$

Коректуємо розрахункову частоту обертання по паспорту верстата з умови:

$$n_\phi = n_{\text{наст.}} \leq n_p$$

Для верстата 1К62
$$n_\phi = 250 \text{ хв}^{-1}$$

Фактична швидкість різання, м/хв. :

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n_\phi}{1000}, \quad (3.4.15)$$

$$V_\phi = \frac{3,14 \cdot 200 \cdot 250}{1000} = 157 \text{ м / хв}$$

Основний технологічний час, хв. :

$$T_0 = \frac{L}{n_\phi \cdot S_\phi} \cdot i, \quad (3.4.16)$$

де L - розрахункова довжина обробки, мм :

$$L = l + l_1 + l_2, \quad (3.4.17)$$

де l - довжина поверхні обробки, мм ;

l_1 - величина врізання різця, мм :

$$l_1 = 1 [13]$$

l_2 - величина перебігу різця, мм :

$$l_2 = 0 [13]$$

$$L = 42 + 1 + 0 = 43 \text{ мм}$$

$$T_0 = \frac{43}{250 \cdot 0,34} \cdot 50 = 25,3 \text{ хв}$$

Операція 020. Перехід 2.01. Розточити отвір з діаметра 28мм до діаметра 32мм на довжину 50мм (рис. 3.4.5).

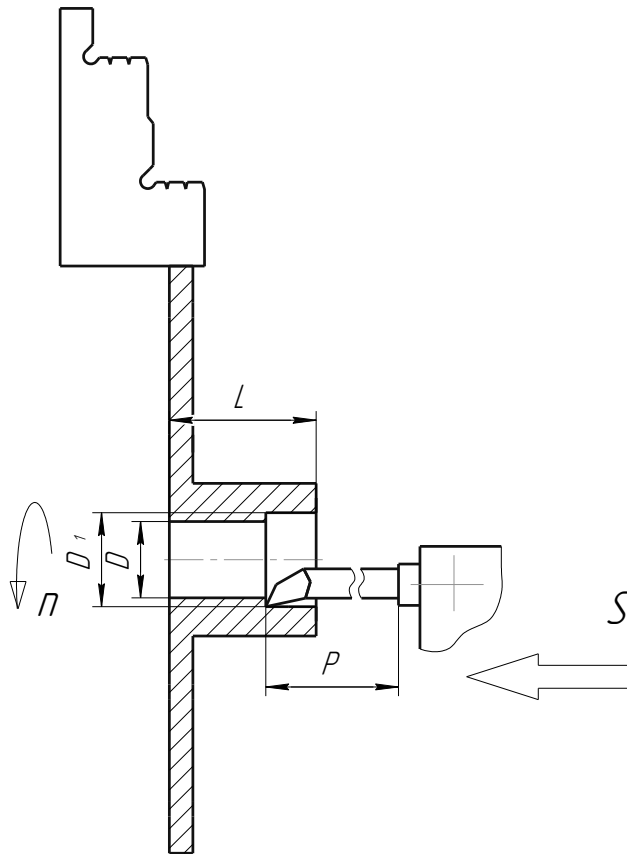


Рисунок 3.4.5 - Розрахункова схема переходу

Вихідні дані:

$D=28\text{мм}$, $D_1=32\text{мм}$ припуск $h=2\text{мм}$.

Різець розточний *T5K10*, $\varphi=60^\circ$; $r=1\text{мм}$, розміри стержня різця $20 \times 20\text{мм}$, виліт розточної частини $P=100\text{мм}$.

Матеріал деталі *сталь 35*, $\sigma_B=750\text{МПа}$

Верстат токарно-гвинторізний *1К62* $N_{ДВ}=10\text{кВт}$, патрон 3-х кулачковий самоцентрувальний.

Глибина різання, мм [9]:

$$t = \frac{D_1 - D}{2 \cdot i}, \quad (3.4.18)$$

де i – число проходів.

Припуск зрізуємо за чотири проходів ($Ra=2,5$)

$$t = \frac{32 - 28}{2 \cdot 4} = 0,5\text{мм}$$

Величина табличної подачі [13]:

$$S_r = 0,2 \dots 0,24 \text{ мм / об}$$

По паспорту верстата 1К62 величина поздовжньої подачі:

$$S_\phi = 0,21 \text{ мм / об}$$

3 Розрахункова швидкість різання [9]:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S_\phi^y} \cdot K_v, \quad (3.4.19)$$

де C_v - емпіричний коефіцієнт швидкості:

$$C_v = 420 \text{ [11]}$$

x, y, m - показники степені [11]:

$$x = 0,15; y = 0,35; m = 0,20$$

T - стійкість інструменту, хв.:

$$T = 30 \dots 60$$

K_v - поправочний коефіцієнт [11]:

$$K_v = K_m \cdot K_n \cdot K_u \cdot K_\phi, \quad (3.4.20)$$

де K_m - коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу заготовки;

K_n - коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки;

K_u - коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту;

K_ϕ - коефіцієнт, що враховує вплив головного кута в плані.

$$K_m = K_r \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v}, \quad (3.4.21)$$

де K_r - коефіцієнт, що враховує групу сталі;

n_v - показник степені.

$$K_m = 1 \cdot \left(\frac{750}{750} \right)^1 = 1$$

Значення коефіцієнтів K_n, K_u, K_ϕ визначаються за даними [11].

$$K_v = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,9 = 0,9$$

Тоді

$$V = \frac{420}{45^{0,2} \cdot 0,5^{0,15} \cdot 0,21^{0,35}} \cdot 0,9 = 240,9 \text{ м / хв}$$

Розрахункова частота обертання деталі, хв^{-1} :

$$n_p = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_1}, \quad (3.4.22)$$

$$n_p = \frac{1000 \cdot 240,9}{3,14 \cdot 32} = 2397,5 \text{ хв}^{-1}$$

Коректуємо розрахункову частоту обертання по паспорту верстата з умови:

$$n_\phi = n_{\text{наст.}} \leq n_p$$

Для верстата 1К62

$$n_\phi = 2000 \text{ хв}^{-1}$$

Фактична швидкість різання, м/хв. :

$$V = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n_\phi}{1000}, \quad (3.4.23)$$

$$V_\phi = \frac{3,14 \cdot 32 \cdot 2000}{1000} = 200,96 \text{ м / хв}$$

Основний технологічний час, хв.:

$$T_0 = \frac{L}{n_\phi \cdot S_\phi} \cdot i, \quad (3.4.24)$$

де L - розрахункова довжина обробки, мм:

$$L = l + l_1 + l_2, \quad (3.4.25)$$

де l - довжина поверхні обробки, мм;

l_1 - величина врізання різця, мм:

$$l_1 = \frac{t}{\operatorname{tg} \varphi + (0,5 \dots 2)}, \quad (3.4.26)$$

$$l_1 = \frac{0,875}{\operatorname{tg}(90^\circ - 60^\circ) + 1,2} \approx 2 \text{ мм}$$

l_2 - величина перебігу різця, мм:

$l_2 = 1 \dots 5$ [13], приймається $l_2 = 2 \text{ мм}$

$$L = 50 + 2 + 2 = 54 \text{ мм}$$

$$T_0 = \frac{54}{2000 \cdot 0,21} \cdot 4 = 0,5 \text{ хв}$$

Аналогічно розраховуються останні операції маршрутної карти.