

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичної роботи №5
«Методика розрахунку маніпулятора для зварювання швів
різноманітно зорієнтованих у просторі»

з дисципліни
«Допоміжне обладнання зварювального виробництва»

для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка
освітніх програм «Технології та устаткування зварювання» і
«Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій»
усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання практичної роботи №5 «Методика розрахунку маніпулятора для зварювання швів різноманітно зорієнтованих у просторі» з дисципліни «Допоміжне обладнання зварювального виробництва» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка освітніх програм «Технології та устаткування зварювання» і «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» усіх форм навчання / Укл. М.Ю. Осіпов, О.Є. Капустян. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 22 с.

Укладачі:

Осіпов М.Ю., канд. техн. наук, доцент
Капустян О.Є., канд. техн. наук, доцент

Рецензент: Куликовський Р.А., канд. техн. наук, доцент

Коректор: Аверченко І.П., ст. лаб.

Відповідальний за випуск:

Осіпов М.Ю., канд. техн. наук, доцент

Затверджено
на засіданні кафедри ІТЗ та МК
Протокол №01 від 13.09.2023 р.

Рекомендовано
до видання НМК ІФФ
Протокол №06 від 16.01.2024 р.

ЗМІСТ

1 МЕТА РОБОТИ	4
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	4
2.1 Призначення маніпулятора M11010	5
2.2 Технічні характеристики маніпулятора M11010	5
2.3 Устрій маніпулятора	6
3 ЗАВДАННЯ НА ПІДГОТОВКУ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ	9
4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ	10
5 РОЗРАХУНОК МЕХАНІЗМУ ОБЕРТАННЯ ПЛАНШАЙБИ МАНІПУЛЯТОРА	10
6 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ	20
7 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ	21
8 ЗМІСТ ЗВІТУ	21
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	21
Додаток А Вихідні дані для розрахунку універсальних зварювальних маніпуляторів	22

1 МЕТА РОБОТИ

Вивчення конструкції, принципу дії та отримання практичних навичок з розрахунку механізму обертання маніпулятора моделі M11010.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Зварювальні маніпулятори – це механічні пристрої, за допомогою яких здійснюються повороти, нахил і обертання виробів зі швидкістю зварювання при автоматичному і напівавтоматичному зварюванні кругових швів, а також при наплавленні циліндричних і конічних поверхонь. Маніпулятор виконує також функції кантувача для встановлення виробу в потрібне положення, зручне для зварювання швів: «в човник», або в горизонтальне положення [1, 2].

Універсальні зварювальні маніпулятори побудовані за одним принципом і тому їх конструкції подібні між собою. Цей принцип заснований на тому, що маніпулятор, забезпечений кріпильною планшайбою або плитою, має дві взаємно перпендикулярні вісі, навколо яких планшайба із закріпленням на ній виробом може повертатися або нахилитися. Привод планшайби забезпечує регулювання числа її обертів в необхідних для зварювання межах. У приводі нерідко передбачається також перемикач на маршову (установчу) швидкість обертання.

Позиціонери, на відміну від маніпуляторів, не розраховані на зварювальне обертання виробу і призначені тільки для встановлення і повороту (кантування) виробу в зручну для зварювання позицію з маршовою швидкістю. Тому схема живлення і привод позиціонера значно простіше, ніж у маніпулятора.

У залежності від вантажопідйомності розрізняють такі маніпулятори та позиціонери:

- а) легкі – до 500 кг;
- б) середні – від 500 кг до 2000 кг;
- в) важкі – до 10000 кг і більше (до 200 т).

Об'єктами розрахунку в зварювальних маніпуляторах є:

- механізм обертання виробу відносно вісі шпинделя;
- механізм нахилу шпинделя;
- несучі конструкції його обертової і стаціонарної частин.

В цій роботі передбачається виконати розрахунок механізму обертання за відомими габаритами та вагою готового виробу.

2.1 Призначення маніпулятора M11010

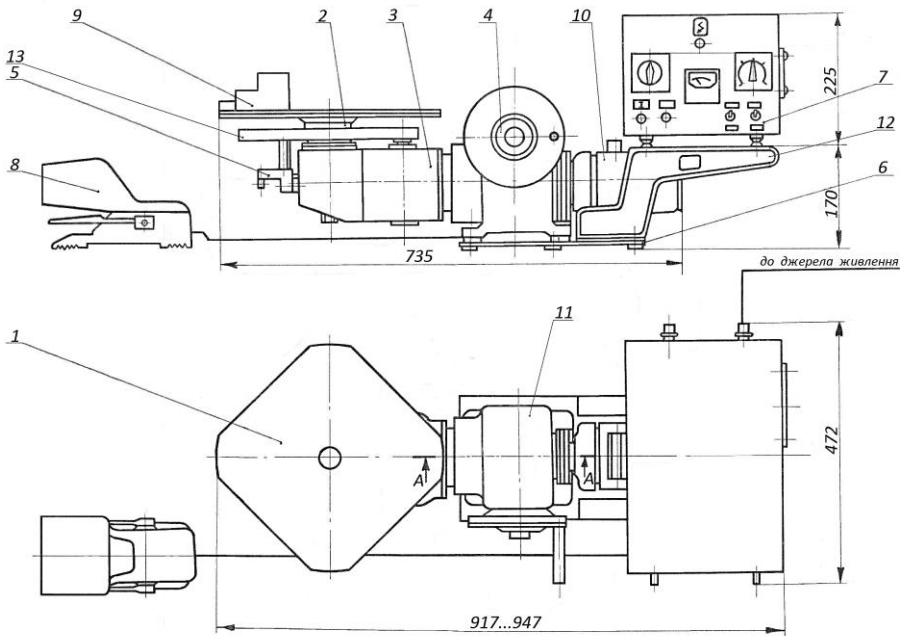
Маніпулятор M11010 призначений для нахилу і обертання циліндричних виробів при зварюванні кільцевих швів із заданою швидкістю. Маніпулятор може бути використаний у якості механізованого обертача при спільній роботі із не приводними спеціальними пристроями.

2.2 Технічні характеристики маніпулятора M11010

- момент на вісі обертання, Н·м	25
- момент відносно опорної площини планшайби, Н·м	40
- максимальна вантажопідйомність, Н	500
- частота обертання шпинделю для забезпечення зварювальної швидкості, хв^{-1} , при виробках, які встановлені:	
1. без ексцентриситету	0,125-6,3
2. з ексцентриситетом відносно вісі обертання	0,315-6,3
- кут повороту планшайби, град	± 360
- кут нахилу планшайби, град	± 360
- найбільший діаметр виробу, який зварюється, мм	360
- номінальний зварювальний струм, А	315
- маса маніпулятора (без блоку керування та педалі), кг	55
- габаритні розміри, мм	
довжина	735
ширина	472
висота	395

2.3 Устрій маніпулятора

Маніпулятор М11010 (рис. 2.1) складається з підставки 6, на якій змонтовані електродвигун 10, редуктор нахилу 11 і кронштейни 12 для блоку управління 7, та редуктора 3 привода обертання планшайби 1 і шпиндельного вузла. Крім того до складу маніпулятора входить педаль 8 для дистанційного запуску маніпулятора.

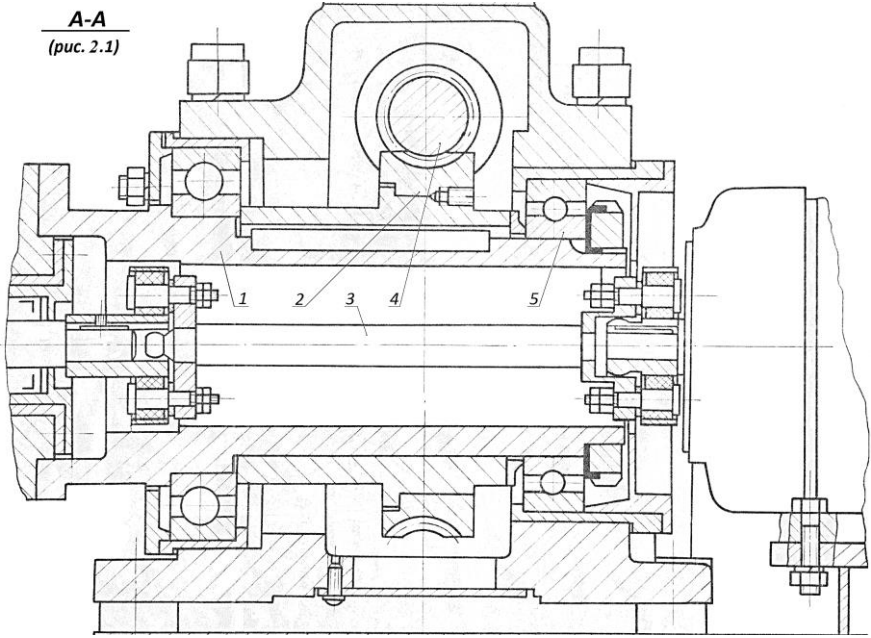


- 1 – планшайба, 2 – шпиндель, 3 – черв'ячний редуктор обертання планшайби,
 4 – маховик із внутрішнім планетарним редуктором, 5 – струмознімач,
 6 – підставка, 7 – блок управління, 8 – педаль управління, 9 – кулачок затискний,
 10 – електродвигун, 11 – редуктор нахилу, 12 – кронштейн, 13 – зубчасте колесо

Рисунок 2.1 – Схема маніпулятора М11010

Редуктор механізму нахилу – одноступеневий черв'ячний редуктор, встановлений на основу маніпулятора. Тихохідним валом є порожниста труба-вал 1, на яку насаджено черв'ячне колесо 2 (рис. 2.2). На виході вал-труба закінчується фланцем, до якого кріпиться редуктор привода обертання планшайби.

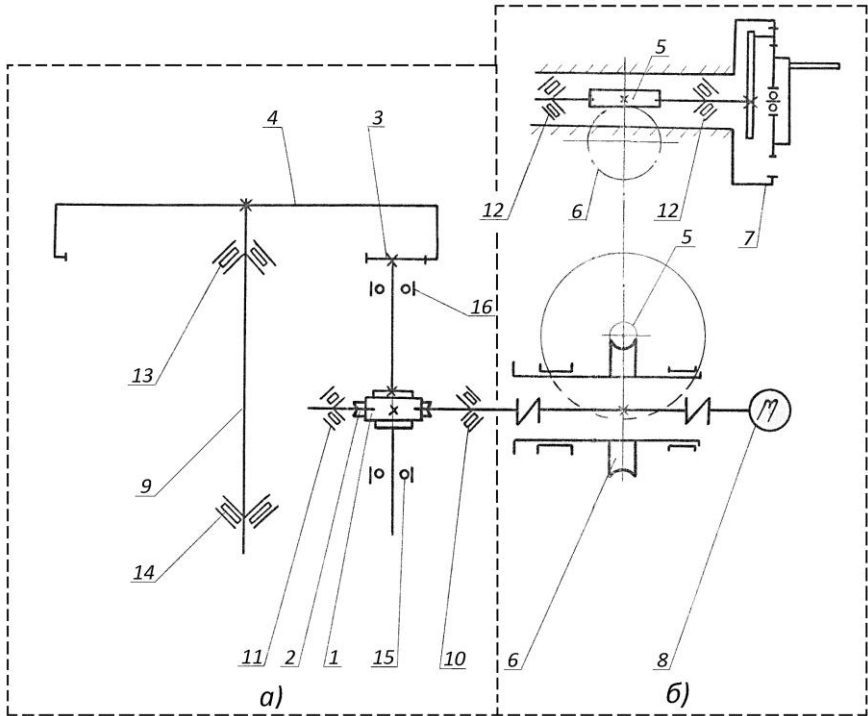
A-A
(рис. 2.1)



1 – труба-вал, 2 – черв'ячне колесо, 3 – проміжний вал, 4 – вал черв'яка, 5 – підшипник
Рисунок 2.2 – Розріз А-А за рис. 2.1

Всередині вала-труби знаходяться деталі з'єднання вала електродвигуна з валом редуктора привода обертання, являючи собою проміжний вал 3 з двома еластичними муфтами. На валу черв'яка 4 із зовнішньої сторони встановлений маховик із внутрішнім планетарним редуктором (рис. 2.3). Вал-труба обертається у підшипниках ковзання 5.

Редуктор (рис. 2.1, поз. 3) є основним приводним механізмом для привода обертання планшайби. Черв'ячна пара редуктора (рис. 2.3, поз. 1, 2) виконана самогальмуючою. Вихідний вал черв'ячного колеса закінчується шестернею, яка входить у зачеплення із зубчастим колесом шпиндельного вузла. Редуктор обертання з одного боку кріпиться до фланцю порожнистого вала-труби редуктора нахилу, а з протилежного боку до корпусу редуктора обертання кріпиться шпиндельний вузол.



а – схема приводу обертання, *б* – схема приводу нахилу планшайби

1 – черв'як приводу обертання планшайби, 2 – черв'ячне колесо приводу обертання, 3, 4 – зубчаста шестерня, 5 – черв'як приводу нахилу, 6 – черв'ячне колесо приводу нахилу, 7 – внутрішній планетарний редуктор, 8 – електродвигун, 9 – шпиндель, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 – підшипники

Рисунок 2.3 – Кінематична схема маніпулятора

Шпиндельний вузол включає в себе власне шпиндель, зубчасте колесо і струмознімач. Шпиндель встановлений всередині корпусу на підшипниках кочення. Шпиндель виконано порожнистим, у верхній частині порожнистого отвору є конус Морзе В18 ГОСТ 25557-2009 (ІСО 296:1991), в нижній частині шпинделя із зовнішньої сторони є різьба М24×1.

Велика зубчаста шестерня з внутрішнім зачепленням (рис. 2.3, поз. 4) насаджена на шпиндель і одержує обертання від малої шестерні редуктора приводу обертання (рис. 2.3, поз. 3).

Корпус шпиндельного вузла кріпиться безпосередньо до корпусу редуктора приводу обертання. На торцевій стінці корпусу

кріпиться струмознімач з графітовими щітками для відводу з всієї конструкції маніпулятора зварювального струму. На текстолітовому кронштейні кріпиться пластина з трьома стаканчиками для трьох мідно-графітових щіток, які притискуються до внутрішньої площини зубчастого колеса під зусиллям пружин, розташованих всередині кожного стаканчика. Зварювальний струм відводиться від щіток на мідну шину, звідти поступає до джерела живлення. Текстолітовий кронштейн ізолює струмознімач від всієї маси маніпулятора.

Планшайба виконана з пазами та отворами для встановлення на неї пристроїв для закріплення виробів, які зварюються або наплавляються. Кріпиться вона до зубчастого колеса з внутрішнім зачепленням привода обертання.

При необхідності, замість планшайби, на маніпулятор може бути встановлений патрон трьохкулачковий, що самоцентрується моделі 7100-0005 ГОСТ 2675:80.

Робота маніпулятора і її контроль здійснюються за допомогою електродвигуна постійного струму та електроапаратури, яка встановлена в блоці управління.

3 ЗАВДАННЯ НА ПІДГОТОВКУ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ

Перед тим, як приступати до виконання практичної роботи студент зобов'язаний вивчити дані методичні вказівки, ознайомитися з конструкціями та методикою розрахунку універсальних зварювальних маніпуляторів та позиціонерів [1, §§25, 28; 2, §8.9], вивчити інструкцію з техніки безпеки, відповісти на контрольні запитання викладача та отримати у нього дозвіл на виконання роботи.

4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

1. Для чого призначені зварювальні маніпулятори?
2. Поясніть, як працює механізм обертання планшайби?
3. Поясніть, як працює механізм нахилу планшайби?
4. Якими методами може визначатися швидкість обертання планшайби?
5. За допомогою чого змінюється швидкість обертання планшайби?
6. В яких випадках використовуються трьох або чотирьохкулачкові затискні патрони?

5 РОЗРАХУНОК МЕХАНІЗМУ ОБЕРТАННЯ ПЛАНШАЙБИ МАНІПУЛЯТОРА

У даній практичній роботі виконується тільки розрахунок механізму обертання.

Вихідні дані для розрахунку маніпуляторів:

- а) вага виробу з кріпильним пристосуванням, положення його центра ваги і розміри;
- б) необхідні межі регулювання робочої швидкості зварювання чи наплавлення;
- в) кут нахилу вісі обертання α та необхідний діапазон його змінення;
- г) маршова швидкість (при необхідності).

Значення маршової швидкості V_m призначається виходячи з допустимої окружної швидкості обертання виробу (10-250 м/год.).

По відомому значенню V_m визначають найбільшу частоту обертання шпинделя n , хв^{-1} (5.1), а виходячи з неї – найбільшу потужність двигуна.

$$n = \frac{V_m}{\pi \cdot D}, \quad (5.1)$$

де D – діаметр виробу, мм.

Робочий діапазон регулювання частоти обертання визначається у залежності від швидкостей зварювання (від V_{min} до V_{max}) та діаметрів кільцевих швів (від D_{min} до D_{max}):

$$n_{min} = \frac{V_{min}}{\pi D_{max}}; \quad n_{max} = \frac{V_{max}}{\pi D_{min}}. \quad (5.2)$$

Отже, у зварювальних маніпуляторах, щоб виконувалася ця умова, частота обертання повинна мінятися в i разів:

$$i = \frac{n_{max}}{n_{min}} = \frac{V_{max} \cdot D_{max}}{V_{min} \cdot D_{min}}. \quad (5.3)$$

Для визначення кількості обертів за заданою швидкістю зварювання і діаметром кільцевих швів користуються номограмами, одна з яких представлена на рис. 5.1. Похилі лінії номограми позначають швидкості зварювання ($V_{зв}$, м/год.) відповідно до технології. Зварювальник вибирає при даному діаметрі (D , мм) зварного шва і зазначеної швидкості зварювання необхідне значення частоти обертання планшайби, яку потім встановлює по шкалі за допомогою ручки задатчика частоти обертання на передній панелі блоку управління.

Частота обертання планшайби може бути також розрахована за формулою:

$$n = \frac{V_{зв} \cdot 1000}{\pi \cdot D \cdot 60}. \quad (5.4)$$

За вихідними даними та розрахунковою схемою маніпулятора (рис. 5.2) визначається його силове навантаження – зусилля, діючі на шпиндель, згинальний, крутний моменти та ін.

Еквівалентний згинальний момент у найбільш небезпечному перерізі шпинделя – в підшипнику A :

$$M_e = \sqrt{M_z^2 + M_{кр}^2}. \quad (5.5)$$

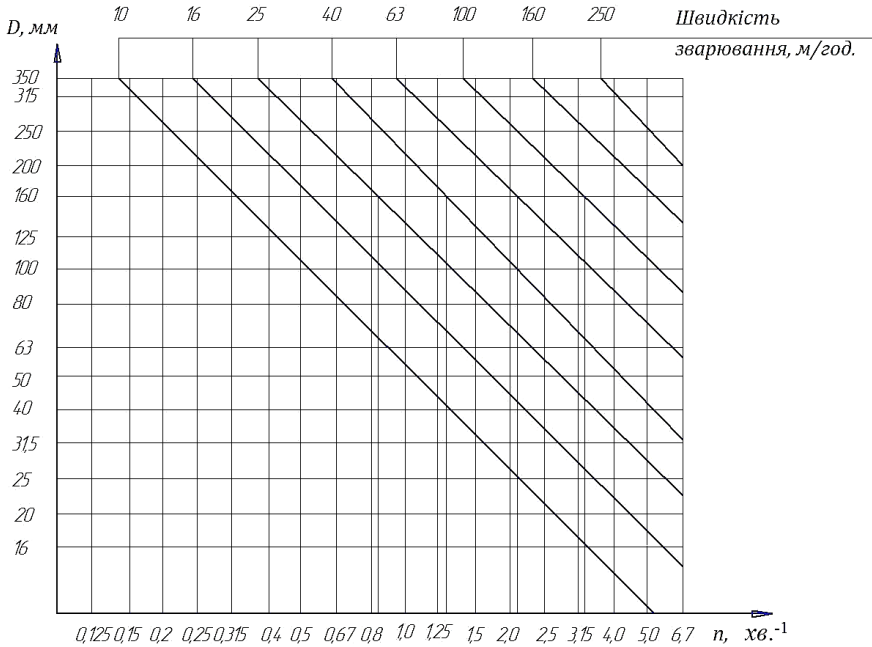


Рисунок 5.1 – Номограма для визначення числа обертів планшайби зварювального маніпулятора по заданій швидкості зварювання при заданому діаметрі виробу

Цей момент є функцією двох змінних величин: кута нахилення шпинделя α та кута повороту планшайби β при її обертанні навколо вісі шпинделя (рис. 5.2, а).

Згинальний момент, який діє в перерізі А у вертикальній площині:

$$M_B = G_1 \cdot h + G_2 \cdot e \cdot \sin \beta.$$

Згинальний момент в нахилений перпендикулярній площині:

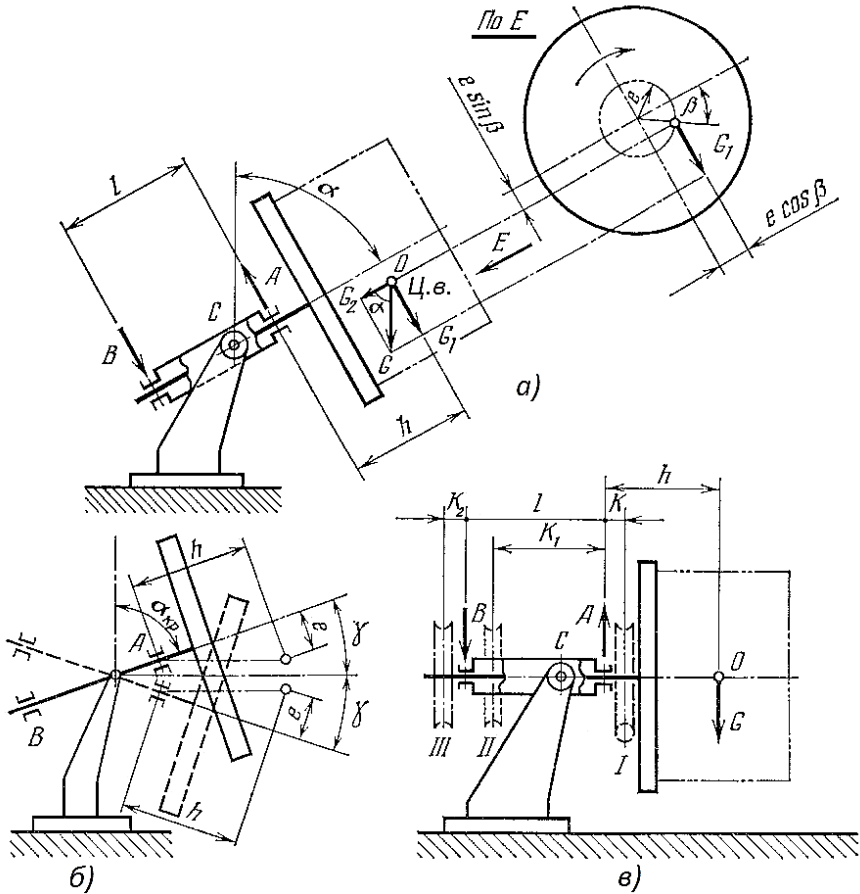
$$M_2 = G_2 \cdot e \cdot \cos \beta.$$

Підсумковий згинальний момент в перерізі А шпинделя:

$$M_3 = \sqrt{M_B^2 + M_2^2} = \sqrt{G_1^2 \cdot h^2 + G_2^2 \cdot e^2 + 2G_1G_2he \cdot \sin \beta}, \quad (5.6)$$

де G – вага виробу з кріпильними пристроями, Н;

h та e – координати центра ваги (Ц.в.), м;
 α – кут нахилу шпинделя;
 β – кут повороту планшайби;
 $G_1 = G \cdot \sin \alpha$; $G_2 = G \cdot \cos \alpha$ (рис. 5.2, а).



a – нахилене положення під довільним кутом α , b – нахилене положення під кутом $\alpha_{кр}$, v – горизонтальне положення при $\alpha = 90^\circ$

Рисунок 5.2 – Розрахункові схеми механізму обертання маніпулятора
 Таким чином, підсумковий згинальний момент має вигляд:

$$M_3 = G \sqrt{h^2 \cdot \sin^2 \alpha + e^2 \cos^2 \alpha + 2he \sin \alpha \cos \alpha \sin \beta}. \quad (5.7)$$

Крутний момент:

$$M_{\text{кр}} = G_1 e \cos \beta = G \cdot e \cdot \sin \alpha \cos \beta. \quad (5.8)$$

Еквівалентний момент в перерізі A :

$$M_e = \sqrt{M_3^2 + M_{\text{кр}}^2} = G \sqrt{e^2 \cos^2 \beta + (h \sin \alpha + e \cos \alpha \sin \beta)^2}. \quad (5.9)$$

Вираз (5.9) дозволяє оцінити величину M_e при різних значеннях кутів α та β .

Співвідношення кутів α та $\beta_{\text{кр}}$, при якому момент M_e досягає максимального значення:

$$\text{ctg } \alpha = \frac{e}{h} \sin \beta_{\text{кр}}. \quad (5.10)$$

Максимальне значення еквівалентного моменту:

$$M_{e \text{ max}} = G \sqrt{h^2 + e^2}.$$

Для кожного співвідношення e/h існує критичний кут нахилу $\alpha_{\text{кр}}$ та прилежний до нього діапазон кутів більших критичного в межах від $\alpha_{\text{кр}}$ до $\alpha_{\text{кр}} + 2\gamma$ (рис. 5.2, б), при яких M_e досягає $M_{e \text{ max}}$. Небезпечні розрахункові кути нахилу існують в діапазоні $\pm\gamma$ від горизонтального положення осі шпинделя.

$$\gamma = \arctg \frac{e}{h}, \quad (5.11)$$

$$\alpha_{\text{кр}} = 90 - \gamma = 90 - \arctg \frac{e}{h}. \quad (5.12)$$

Кути, які не входять в зону кутів γ , не вважаються небезпечними і отже, не можуть розглядатися як розрахункові.

Розташування ведучої та веденої зубчастих шестерень на валу в положеннях I , II або III (рис. 5.2, в) впливає на величину діючих на шпиндель моментів та опорних реакцій. Ведучу шестерню, як правило, розміщують унизу.

Варіант I. Зубчасте колесо розміщене на передній консольній частині шпинделя (положення Λ).

а) Для варіанта I при $\alpha = \alpha_{\text{кр}}$, та $\beta = 90^\circ$ опорна реакція в горизонтальній площині $A_r = 0$, а у вертикальній:

$$A_B = G \frac{h^2 + e^2 + hl}{l \cdot \sqrt{h^2 + e^2}}. \quad (5.13)$$

Підсумкова реакція в опорі A :

$$A = \sqrt{A_B^2 + A_r^2} = A_B. \quad (5.14)$$

Горизонтальна реакція в опорі B буде $B_r = 0$.

Вертикальна реакція в опорі B :

$$B_B = G \frac{\sqrt{h^2 + e^2}}{l}. \quad (5.15)$$

Підсумкова реакція в опорі B :

$$B = \sqrt{B_B^2 + B_r^2} = B_B. \quad (5.16)$$

Отже, згинальний момент в горизонтальній нахилений площині $M_r = 0$, а в вертикальній площині:

$$M_B = G \sqrt{h^2 + e^2}. \quad (5.17)$$

Тоді і еквівалентний згинальний момент буде:

$$M_e = G \sqrt{h^2 + e^2}. \quad (5.18)$$

Діаметр шпинделя в опорі A (як і будь-якого валу), виходячи зі спільної дії згинального моменту M_z й крутного моменту $M_{\text{кр}}$, визначається з умови міцності по еквівалентному моменту:

$$d = \sqrt[3]{\frac{10M_e}{[\sigma]_{\text{зг.}}}}, \quad (5.19)$$

де $[\sigma]_{\text{зг.}}$ – допустиме напруження на згинання, МПа (призначається за даними, що наведені у літературі, наприклад, у табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Допустимі напруження на згинання $[\sigma]_{\text{зг.}}$ для валів та обертових осей діаметром 30...100 мм після гартування

Матеріал	Допустимі напруження $[\sigma]_{\text{зг.}}$, МПа
Сталь 35	60...80
Сталь 45	70...90
Сталь 40Х	75...95

При перевірочних розрахунках необхідно дотримуватись такої умови міцності [3]:

$$\sigma_{\text{зг.}} = \frac{10M_e}{d^3} + \frac{1,3A_{\text{ос}}}{d^2} \leq [\sigma]_{\text{зг.}} \quad (5.20)$$

В цій формулі другий доданок є додатковим напруженням стиску (при $\alpha = \alpha_{\text{кр}}$) або розтягу (при $\alpha = \alpha_{\text{кр}} + 2\gamma$) від дії осьового навантаження шпинделя $A_{\text{ос}}$, яке визначається за формулою:

$$A_{\text{ос}} = G \frac{e}{\sqrt{h^2 + e^2}} \quad (5.21)$$

Підставивши в формулу (5.20) значення M_z і $A_{\text{ос}}$ отримаємо умову міцності шпинделя:

$$\sigma_{\text{зг.}} = \frac{10G\sqrt{h^2 + e^2}}{d^3} + \frac{1,3Ge}{d^2\sqrt{h^2 + e^2}} \leq [\sigma]_{\text{зг.}} \quad (5.22)$$

б) Для варіанта I при $\alpha = 90^\circ$, та $\beta = 0$ опорні реакції підшипника A:

$$A_B = G \frac{l+h}{l}; \quad A_R = G \frac{e(l+k)}{lR}; \quad A_{\text{ос}} = 0. \quad (5.23)$$

де R – радіус зубчастого колеса.

Підсумкова реакція в опорі A:

$$A = \frac{G}{l} \sqrt{(l+h)^2 + \frac{e^2}{R^2} (l+k)^2}. \quad (5.24)$$

Відповідно опорні реакції в підшипнику B :

$$B_B = G \frac{h}{l}; \quad B_T = G \frac{e \cdot k}{lR}. \quad (5.25)$$

Підсумкова реакція в опорі B :

$$B = \frac{G}{l} \sqrt{h^2 + \left(\frac{ek}{R}\right)^2}. \quad (5.26)$$

Згинальні моменти:

- у вертикальній площині

$$M_B = Gh;$$

- в горизонтальній площині

$$M_T = G \frac{ek}{R}.$$

Еквівалентний згинальний момент:

$$M_e = G \sqrt{h^2 + \left(\frac{ek}{R}\right)^2}. \quad (5.27)$$

Діаметр шпинделя визначається за формулою (5.19).

в) Для варіантів II та III при $\alpha = 90^\circ$, та $\beta = 0$ вертикальні реакції в опорі A залишаються без змін і складають $A_B = G \frac{l+h}{l}$, а горизонтальні визначаються відповідно:

$$A_{TII} = G \frac{e(l-k_1)}{lR}; \quad A_{TIII} = G \frac{ek_2}{lR}; \quad A_{oc} = 0. \quad (5.28)$$

Відповідно підсумкові реакції в опорі A :

$$A_{II} = \frac{G}{l} \sqrt{(l+h)^2 + \frac{e^2}{R^2} (l-k_1)^2}, \quad (5.29)$$

$$A_{III} = \frac{G}{l} \sqrt{(l+h)^2 + \left(\frac{ek_2}{R}\right)^2}. \quad (5.30)$$

Змінюються також горизонтальні реакції в опорі B . Їх значення відповідно до варіантів II та III :

$$B_{rII} = G \frac{e \cdot k_1}{lR}; \quad B_{rIII} = G \frac{e \cdot (l+k_2)}{lR}. \quad (5.31)$$

Підсумкові реакції в опорі B :

$$B_{II} = \frac{G}{l} \sqrt{h^2 + \left(\frac{ek_1}{R}\right)^2}, \quad (5.32)$$

$$B_{III} = \frac{G}{l} \sqrt{h^2 + \frac{e^2}{R^2} (l+k_2)^2}. \quad (5.33)$$

Еквівалентний згинальний момент:

$$M_e = G \sqrt{h^2 + e^2}. \quad (5.34)$$

Діаметр шпинделя визначається за формулою (5.19).

Обраний діаметр шпинделя для будь-якого з положень зубчастого колеса (положення I , II або III) слід перевірити на витривалість за методикою Д.Н. Решетова [4], що враховує характер зміни напружень, концентрацію напружень, масштабний фактор та ін. Однак уточнений розрахунок на витривалість виконувати немає необхідності, якщо дотримується умова:

$$\sigma \leq \frac{\varepsilon \cdot \sigma_{-1}}{k_\sigma \cdot n}, \quad (5.35)$$

де σ_{-1} – межа витривалості матеріалу при вигині зі знакозмінним симетричним циклом, МПа (або кгс/см²);

ε – масштабний фактор (може бути прийнятий 0,5);

k_σ – ефективний коефіцієнт концентрації напружень в небезпечному перерізі (може бути прийнятий 1,5...2,0);

n – запас міцності по витривалості (1,5...1,8).

Крім міцності і витривалості, шпиндель повинен бути також

перевірений на жорсткість – згинальну (Δ) і крутильну (φ).

Умова жорсткості шпинделя:

- для зварювальних маніпуляторів і обертачів

$$\Delta \leq 0,0002 \cdot l, \quad \varphi \leq 0,001 \cdot l_{\text{кр}}$$

- для позиціонерів

$$\Delta \leq 0,0005 \cdot l, \quad \varphi \leq 0,003 \cdot l_{\text{кр}}$$

де Δ – прогин, см;

l – відстань між опорами, см;

φ – кут закручування, град;

$l_{\text{кр}}$ – довжина ділянки вала, яка скручується, см.

Кут закручування визначається з виразу:

$$\varphi = \frac{180 M_{\text{кр}} l_{\text{кр}}}{\pi E_0 I_0}, \quad (5.36)$$

де $E_0 = 860.000 \text{ кгс/см}^2$ – модуль зсуву;

I_0 – полярний момент інерції перерізу вала, см^4 .

Потужність привода N визначається по крутному моменту та максимальній частоті обертання шпинделя з урахуванням витрат на тертя в підшипниках та загального ККД приводного механізму η_o :

$$N = \frac{(M_{\text{кр}} + M_{\text{тр}})n}{97.400 \cdot \eta_o}, \quad (5.37)$$

де $M_{\text{кр}} = G \cdot e$ – крутний момент, $\text{кгс}\cdot\text{см}$;

$M_{\text{тр}} = 0,5f(A_0 d_A + B_0 d_B)$ – момент сили тертя в підшипниках, $\text{кгс}\cdot\text{см}$;

f – коефіцієнт тертя в підшипниках;

d_A і d_B – діаметри шпинделя в перерізах A і B , см;

A_0 і B_0 – підсумкові реакції опор в варіантах I, II, III ;

n – частота обертання шпинделя, хв^{-1} .

Підбір підшипників здійснюється за зусиллям A_0 і B_0 і частоті обертання.

У наведених розрахунках крутний момент визначається при постійній швидкості обертання шпинделя, тобто без динамічних процесів.

Якщо маса виробу і швидкість його обертання досить великі, то в розрахунках на міцність до статичного крутного моменту необхідно додати динамічний момент сил інерції $M_{\text{ін}}$, що діє при розгоні і гальмуванні (при несталому обертанні шпинделя):

$$M_{\text{ін}} = \frac{G \cdot D_{\text{ін}}^2}{375} \cdot \frac{n}{t_{\text{ін}}}, \quad (5.38)$$

де G – вага маси, яка обертається, кгс;

$D_{\text{ін}}$ – діаметр інерції маси, м;

$GD_{\text{ін}}^2$ – маховий момент маси, яка обертається;

$t_{\text{ін}}$ – час пуску і гальмування, визначається залежно від числа обертів n і пускового моменту двигуна по його каталожній характеристиці.

За потужністю обраного електродвигуна і кінематичної схеми приводного механізму визначаються розміри всіх елементів механізму (валів, зубчастих передач, підшипників та ін.) методами розрахунку деталей машин [4].

6 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

1. До робіт допускаються студенти після інструктажу з охорони праці та пожежної безпеки.

2. Забороняється вмикати електричні прилади та обладнання без дозволу завідуючого лабораторією або викладача.

3. У випадку виявлення неполадок обладнання студент повинен негайно повідомити викладача або завідуючого лабораторією.

4. У випадку виникнення пожежі або поразки електричним струмом студенти повинні діяти у відповідності із затвердженими інструкціями з охорони праці та пожежної безпеки.

7 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ

1. Вивчити конструкцію, принцип дії та технічні характеристики маніпулятора M11010.
2. Виконати розрахунок механізму обертання маніпулятора, використавши для цього дані, наведені в додатку А.
3. Виконати розрахунок на міцність та зробити перевірку шпинделя механізму обертання на витривалість.
4. Скласти кінематичну схему розрахованого механізму обертання та обрати електродвигун.
5. Накреслити загальний вид маніпулятора у форматі А3.
6. Оформити звіт.

8 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Мета роботи.
2. Стислий опис конструкції, принцип її дії та управління.
3. Розрахунки шпинделя на міцність, витривалість та жорсткість.
4. Креслення загального виду маніпулятора та кінематичної схеми механізму обертання.
5. Висновки про виконану роботу.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві / 2-ге видання, переробл. та доповн.: Навч. посібник // А.С. Карпенко. – К.: Арістей, 2006. – 272 с.

Додаток А

Вихідні дані для розрахунку універсальних зварювальних маніпуляторів

№ вар.	Швидкість зварювання м/хв	Діаметр виробу, мм	Вага виробу, G, Н	Ексцентриситет, e, мм	Плече, h, мм	Відстань, мм (рис. 5.2)				Радіус зубчастого колеса, R, мм	Матеріал шпинделя
						l	K	K_1	K_2		
0	0,3	360	500	25	200	200	40	-	-	225	40X
1	0,2	350	450	45	230	200	40	-	-	250	сталь 45
2	0,2	340	470	55	250	200	40	-	-	275	30ХГТ
3	0,4	330	455	18	190	200	40	-	-	190	20X
4	0,5	320	430	20	160	200	-	160	-	150	Ст 5сп
5	0,3	310	420	28	200	200	-	160	-	225	20X
6	0,3	300	425	30	230	200	-	160	-	250	30ХГТ
7	0,2	300	400	40	250	200	-	-	40	275	40ХН
8	0,5	315	410	40	190	200	-	-	40	190	20X
9	0,6	305	400	35	160	200	-	-	40	150	18ХГТ
10	0,3	300	420	25	220	200	40	-	-	260	40X
11	0,2	290	405	45	200	200	40	-	-	225	Ст 5сп
12	0,2	300	380	55	230	200	40	-	-	250	20X
13	0,4	310	390	18	250	200	40	-	-	275	30ХГТ
14	0,5	315	385	20	190	200	-	160	-	190	40ХН
15	0,3	320	365	28	160	200	-	160	-	150	20X
16	0,3	330	370	30	200	200	-	160	-	225	18ХГТ
17	0,2	335	400	40	230	200	-	-	40	250	сталь 45
18	0,5	340	420	40	250	200	-	-	40	275	30ХГТ
19	0,6	350	430	35	190	200	-	-	40	190	20X
20	0,5	360	450	33	160	200	-	-	40	150	Ст 5сп