МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичної роботи №2
«Методика розрахунку і проектування
важільно-пневматичних притискачів»

з дисципліни
«Складально-зварювальне оснащення»

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

2024

Методичні вказівки до виконання практичної роботи №2 «Методика розрахунку і проектування важільно-пневматичних притискачів» з дисципліни «Складально-зварювальне оснащення» 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, М.І. Андрущенко, О.Є. Капустян. – НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 18 с.

Укладачі:

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

Рецензент:

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

Редактор: Аверченко І.П., ст. лаб.

Відповідальний за випуск:

Осіпов М.Ю., канд. техн. наук, доцент

Затверджено
на засіданні кафедри ОТЗВ
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 Принцип роботи кондуктора для збирання листових конструкцій панелі автомобіля 4
2.2 Конструкції та розрахунок важільних і важільно-шарнірних механізмів 6
2.2.1 Важільні механізми 6
2.2.2 Важільно-шарнірні механізми 9
2.3 Конструкції та розрахунок пневматичних приводів 11
3 ЗАВДАННЯ НА ПІДГОТОВКУ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 14
4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНОСТІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ 14
5 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ 15
6 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ 15
7 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 16
8 ЗМІСТ ЗВІТУ 16
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА 16
Додаток А 18

1 МЕТА РОБОТИ

Вивчення устрою і принципу дії кондуктора для збирання листових конструкцій панелі автомобіля та опанування методики розрахунку і проектування важільно-пневматичних притискачів.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Важільно-пневматичні притискачі досить широко застосовуються у складально-зварювальних пристосуваннях, частіше за все для закріплення листових заготівок. Такі притискачі прості у будові та обслуговуванні, швидкодіючі, дають можливість здійснювати одночасний притиск кількох деталей, працювати з великою точністю та ін. [1].

Поряд з позитивним якостями ці притискачі мають такі недоліки:

- велика швидкість переміщення стисненого повітря не дозволяє без застосування додаткових регуляторів швидкостей плавно підводити деталь до баз;
- порівняно невисокий тиск стисненого повітря у мережі тягне за собою відповідно великі розміри пневматичних циліндрів.

Але при добре продуманій конструкції пристрої цього типу відповідають вимогам сучасного виробництва.

2.1 Принцип роботи кондуктора для збирання листових конструкцій панелі автомобіля

Кондуктор для збирання листових конструкцій панелі автомобіля (рис. 2.1) складається з основи 1, на якій шарнірно закріплено корпус кондуктора 2 для повороту його на 360º у горизонтальній площині. На корпусі змонтовано важільно-пневматичні притискувальні механізми 3, стаціонарний 4 та висувні упори 5 і 6, демпфуючий упор 7, посадочне гніздо 8.

Живлення пневматичних циліндрів здійснюється від мережі стисненого повітря через розподілювач повітря, розміщений на корпусі, та триходовий кран, які поєднані гнучкими пневматичними шлангами.

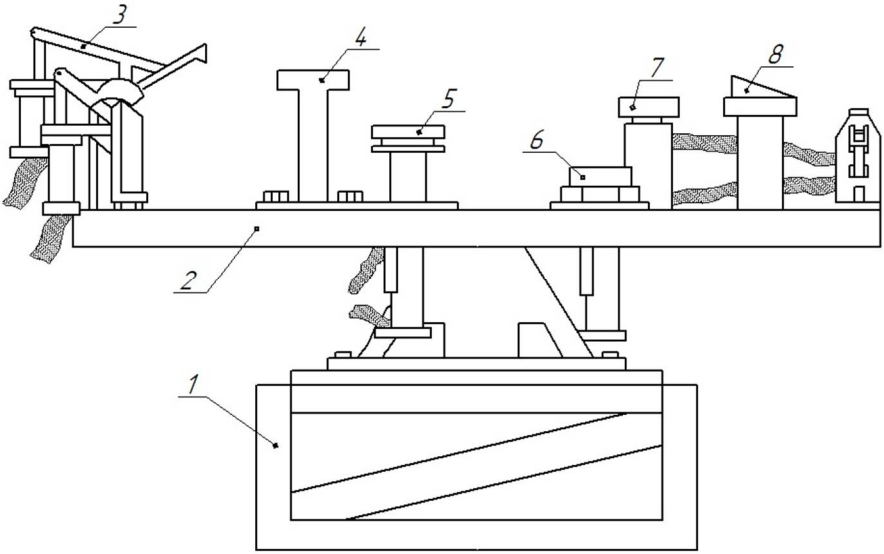


Рисунок 2.1 – Схема кондуктора для збирання листових конструкцій панелі автомобіля

Технічні дані кондуктора

Зусилля на штоках поршнів Q, Н – розраховується (при тиску повітря у мережі 0,4 МПа)

Кількість одночасно фіксованих деталей, шт. ……..…… 9

Габаритні розміри, мм:

- ширина ……... 900
- довжина ……..……. 1100
- висота ……..…… 1200

Маса, кг ……. 320

Робота механізмів кондуктора керується триходовим краном, перемикання якого дозволяє по черзі подавати повітря у робочі порожнини циліндрів, й таким чином змушують механізми діяти – притискувати та звільняти після прихоплювання деталей, що входять до складу вузла, який збирається.

2.2 Конструкції та розрахунок важільних і важільно-шарнірних механізмів

2.2.1 Важільні механізми

Важільні механізми характеризуються швидкодією і застосовуються для збільшення сил затиску, зміни напрямку їх дії та збільшення ходу. Особливо часто вони використовуються як проміжний елемент у комбінації з іншими притискачами.

Конструктивних різновидів важільних механізмів багато, але всі вони зводяться до декількох основних силових схем, наведених, наприклад, на рис. 2.2.

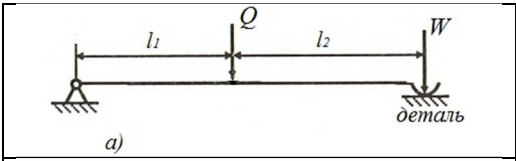
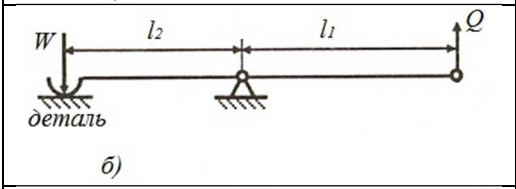
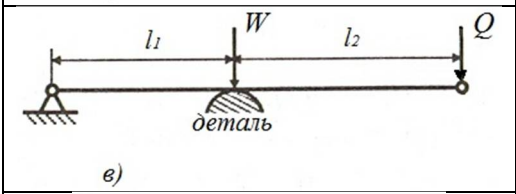
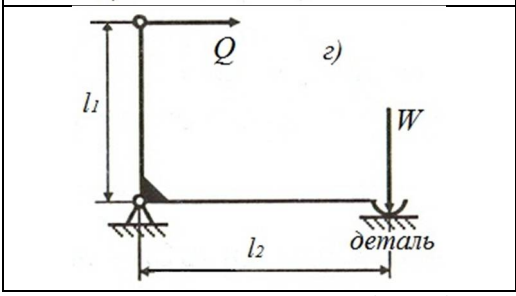
	$W = \frac{Q \cdot l_1}{l_1 + l_2} \cdot \eta,$ при $l_1 = l_2$ $W = \frac{Q}{2} \cdot \eta.$
	$W = \frac{Q \cdot l_1}{l_2} \cdot \eta,$ при $l_1 = l_2$ $W = Q \cdot \eta;$
	$W = \frac{Q \cdot (l_1 + l_2)}{l_1} \cdot \eta,$ при $l_1 = l_2$ $W = 2Q \cdot \eta;$
	$W = \frac{Q \cdot l_1}{l_2} \cdot \eta,$ при $l_1 = l_2$ $W = Q \cdot \eta.$

Рисунок 2.2 – Основні силові схеми важільних механізмів [1]

Для цих механізмів треба визначити вихідну силу Q, яка забезпечила б необхідну розрахункову силу притиску заготовки W. Величину сили притиску заготовки W знаходимо з умови рівноваги моментів відносно опор і з урахуванням витрат на тертя в опорі важеля (ККД механізму) η = 0,85-0,95.

Таким чином, важелі, які працюють за схемою (рис. 2.2 *б* і рис. 2.2 *г*) розвивають силу притискування приблизно у два, а важіль за схемою (рис. 2.2 *в*) – у чотири рази більшу, ніж важіль, що працює за схемою (рис. 2.2 *а*). Перша схема (рис. 2.2 *а*) дає найбільш компактну конструкцію. Однак, передаюче відношення сил у ній завжди менше від одиниці.

Схеми на рис. 2.2 *б* і рис. 2.2 *г* застосовуються переважно у тих випадках, коли треба змінити напрям вихідної сили.

Схема на рис. 2.2 *в*, не зважаючи на те, що дає найбільший виграш у силі, у конструктивному відношенні дуже громіздка, а в експлуатації незручна, оскільки вимагає великого робочого ходу силового джерела та ускладнює завантаження заготовки під важіль.

Розрахунок важільного механізму на міцність зводиться до перевірки міцності її ланцюгів (важелів), яка може бути проведена відомими методами «Опору матеріалів» та «Деталей машин» та визначення сили притискування важелем.

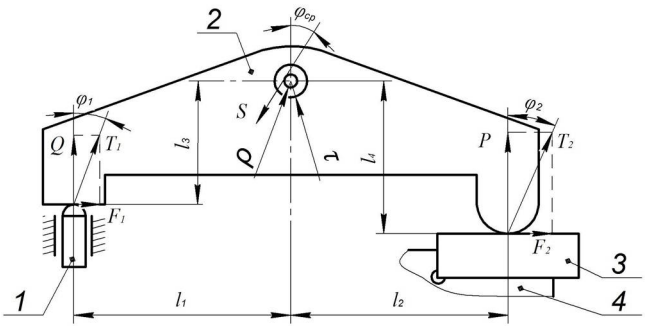
Розглянемо приклад розрахунку сили затиску реальним важелем з урахуванням сил тертя. Схема сил, що діють на важіль, наведена на рис. 2.3. При закріпленні важелем виникають сили тертя F_1 і F_2 на поверхнях контакту важеля 2 зі штоком приводу 1 і заготовкою 3. У цапфі важеля виникає реакція S, що створює на плечі $\rho = rf$ момент тертя (ρ – радіус кола тертя).

Кут $\varphi_{\text{ср}}$ відхилення сили S з достатньою точністю можна прийняти рівним середнього значення між φ_1 і φ_2:

$$\varphi_{\text{ср}} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}. \qquad (2.1)$$

Силу S можна прийняти рівну сумі сил T_1 та T_2:

$$S = T_1 + T_2 = \frac{Q}{\cos\varphi_1} + \frac{P}{\cos\varphi_2} \approx \frac{Q+P}{\cos\varphi_{\text{ср}}}. \qquad (2.2)$$



1 – шток приводу, 2 – важіль, 3 – заготовка, 4 – фрагмент пристрою

Рисунок 2.3 – Схема сил, що діють у реальному важільному притискачі [1]

З умови рівноваги важеля маємо:

$$Ql_1 - F_1 l_3 - S\rho - Pl_2 - F_2 l_4 = 0, \tag{2.3}$$

$$F_1 = Q \operatorname{tg} \varphi_1,$$

$$F_2 = P \operatorname{tg} \varphi_2.$$

Тоді, підставляючи значення S, F_1, F_2 в (2.3) одержимо:

$$Ql_1 - Ql_3 \operatorname{tg} \varphi_1 - \frac{Q+P}{\cos \varphi_{\text{ср}}} \rho - Pl_2 - Pl_4 \operatorname{tg} \varphi_2 = 0. \tag{2.4}$$

Тепер, з рівняння рівноваги (2.4) ми можемо визначити або зусилля на штоку приводу Q при заданому зусиллі притиснення заготовки P (2.5), або при заданому зусиллі Q на штоці приводу – фактичне зусилля притиснення заготовки P (2.6):

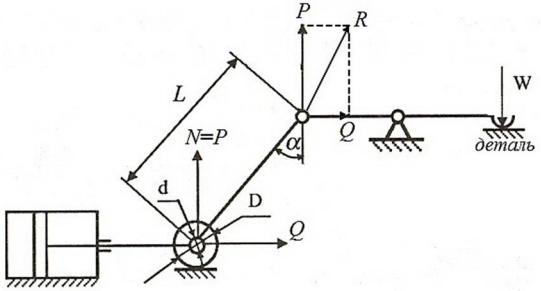
$$Q = P \frac{l_2 + l_4 \operatorname{tg} \varphi_2 + \frac{\rho}{\cos \varphi_{\text{ср}}}}{l_1 - l_3 \operatorname{tg} \varphi_1 - \frac{\rho}{\cos \varphi_{\text{ср}}}}, \tag{2.5}$$

$$P = Q \frac{l_1 - l_3 \operatorname{tg} \varphi_1 - \frac{\rho}{\cos \varphi_{\text{ср}}}}{l_2 + l_4 \operatorname{tg} \varphi_2 + \frac{\rho}{\cos \varphi_{\text{ср}}}}. \tag{2.6}$$

Втрати на тертя у важільному притискачі складають 1,5…6 %.

2.2.2 Важільно-шарнірні механізми

На відміну від важільних у важільно-шарнірних механізмах важіль має два шарніри на обох кінцях. Через один з них від приводу передається вихідна сила Q, а через другий – сила P на механізм затиску заготовки. У складально-зварювальних пристроях застосовують три типи шарнірно-важільних механізмів-підсилювачів: одноважільні (рис. 2.4), двоважільні односторонньої дії (рис. 2.5) та двоважільні двосторонньої дії (рис. 2.6).



α – кут нахилу важелів (приймається $\alpha = 5 \ldots 10°$);
D, d – діаметри ролика та його осі; L – відстань між отворами важеля
Рисунок 2.4 – Кінематична схема одноважільного шарнірного притискача односторонньої дії з роликовою опорою [1]

Характеристика механізму «запас ходу» S_2– переміщення точки прикладення сили P при установці важеля довжиною L у вертикальне положення.

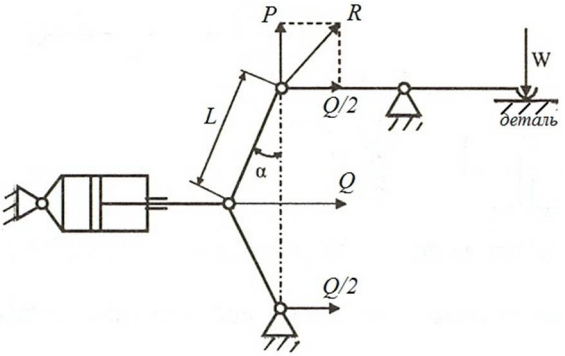


Рисунок 2.5 – Кінематична схема двоважільного шарнірного притискача односторонньої дії [1]

Для схеми на рис. 2.4:

$$P = \frac{Q}{\mathrm{tg}(\alpha+\beta)+\mathrm{tg}\,\varphi_{1\text{пр}}},$$

$$S_2 = L(1-\cos\alpha),$$

$$\beta = arcsinf\frac{d}{L}$$

$$\varphi_{1\text{пр}} = \varphi_1\frac{d}{D} = f\frac{d}{D},$$

де β – допоміжний кут до кута α, який враховує витрати на тертя в роликовій опорі;

$\varphi_{1\text{пр}}$ – приведений кут тертя кочення, який враховує витрати на тертя в роликовій опорі;

$f = 0{,}1 \ldots 0{,}15$ – коефіцієнт тертя ковзання в шарнірах на осі ролика (якщо застосовуються шарикопідшипники, то $f = 0{,}015$).

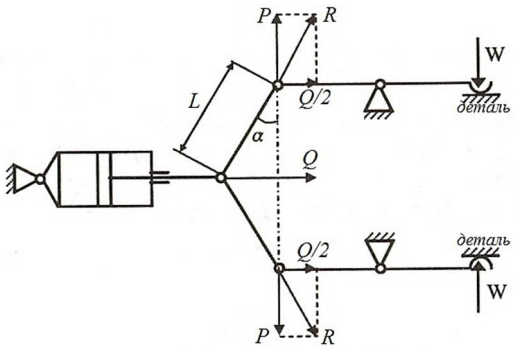


Рисунок 2.6 – Кінематична схема двоважільного шарнірного притискача двосторонньої дії [1]

Для двоважільного шарнірного притискача односторонньої дії з «ламким» важелем (рис. 2.5) сила P на важелі, що створюється таким притискачем, вдвоє менша, а запас ходу вдвоє більший, ніж в притискачеві, виконаному по схемі, що наведена на рис. 2.4:

$$P = \frac{Q}{2\,\mathrm{tg}(\alpha+\beta)}.$$

$$S_2 = 2L(1 - \cos\alpha).$$

У зв'язку з цим, такі важільно-шарнірні притискачі застосовуються в тих пристроях, у яких необхідно мати збільшений хід притискних механізмів.

Для двоважільного шарнірного притискача двосторонньої дії з «ламким» важелем (рис. 2.6) сила P на важелях така ж, як для попереднього випадку, а запас ходу вдвоє менший:

$$P = \frac{Q}{2\,\mathrm{tg}(\alpha+\beta)}.$$

$$S_2 = L(1 - \cos\alpha).$$

2.3 Конструкції та розрахунок пневматичних приводів

У складально-зварювальному виробництві більшість складально-затискних пристроїв оснащені силовими приводами у вигляді пневматичних або гідравлічних циліндрів, чи то пневматичних камер, обладнаних механічними підсилювачами у вигляді важільних або клинових механізмів [2, 3].

Застосування пневматичних притискачів скорочує допоміжний час при виготовленні зварних конструкцій завдяки швидкодії та керуванню пристроєм з одного робочого місця. Пневматичні притискачі забезпечують достатнє складальне зусилля та швидке закріплення і вивільнення вузлів та виробів, які складаються.

Розрізняють три різновиди пневмопритискачів:

а) пневмоциліндри односторонньої та двосторонньої дії;

б) пневмокамери (діафрагмові камери);

в) пневмошланги.

У складально-зварювальних пристроях використовуються пневмопритискачі прямої дії (безпосередньої дії) та пневмоважільні системи. Останні найбільш розповсюджені тому, що вони дають можливість дозувати складальні зусилля та величину переміщення робочих органів.

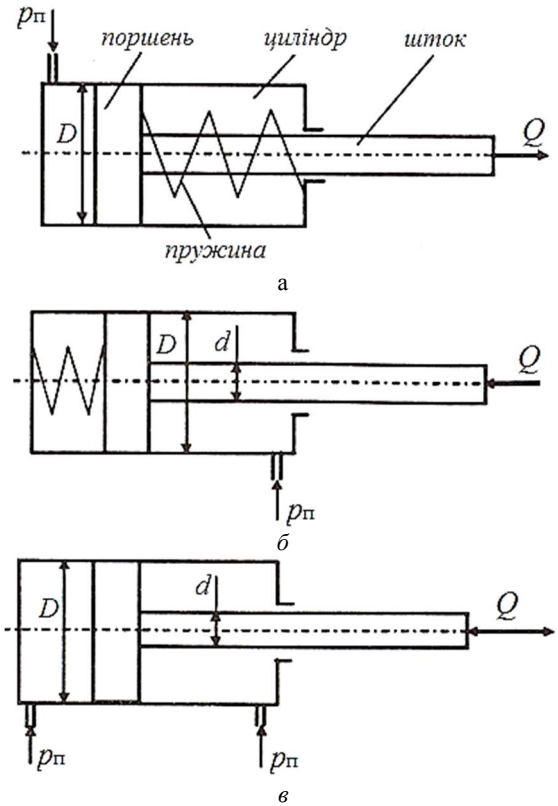
<u>Переваги пневмопритискачів</u>: доступність, завдяки наявності на

заводах мережі стисненого повітря; порівняльна простота конструкції; швидкодія; надійність в роботі; зручність у керуванні.

Недоліки пневмопритискачів: труднощі регулювання швидкості ходу; необхідність в очищенні повітря від вологи; обмеженість величини сили на штоку (20-30 кН); шумність у роботі та ін.

Приклади застосування у складально-зварювальних пристроях різних пневматичних притискачів з пневмоцилиндрами, пневмокамерами та пневмошлангами наведені в [1-3].

Розрізняють пневмоциліндри односторонньої штовхаючої дії (рис. 2.7 *а*) та тягнучої дії (рис. 2.7 *б*), а також пневмоциліндри двосторонньої дії (рис. 2.7 *в*) [1].



а, *б* – односторонньої дії, *в* – двосторонньої дії

Рисунок 2.7– Схеми пневматичних циліндрів [1]

Розрахунок пневматичних циліндрів зводиться до визначення сили на штоку поршня при заданих діаметрі циліндра та тиску повітря в мережі. Можна також за відомими значеннями сили на штоку поршня та тиску повітря визначити діаметр пневмоцилиндра.

Сила на штоку пневмоцилиндра Q односторонньої дії зі зворотною пружиною:

при впуску повітря в позаштокову порожнину

$$Q = p_{\text{п}} \frac{\pi D^2}{4} \eta - Q_1, \tag{2.7}$$

при впуску повітря в штокову порожнину

$$Q = p_{\text{п}} \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} \eta - Q_1, \tag{2.8}$$

де $p_{\text{п}}$ – питомий тиск повітря в мережі, $p_{\text{п}} = 0{,}4 \ldots 0{,}6$ МПа;

η – ККД пневмоцилиндра, $\eta = 0{,}85 \ldots 0{,}9$;

D – діаметр поршня, м;

d – діаметр штока, м;

Q_1 – опір зворотної пружини, Н.

У кінці робочого ходу поршня зворотна пружина створює опір у межах 5…20 % від сили Q на штоці пневмоцилиндра [1].

Сила на штоку пневмоцилиндра двосторонньої дії без зворотної пружини:

при впуску повітря в позаштокову порожнину

$$Q = p_{\text{п}} \frac{\pi D^2}{4} \eta, \tag{2.9}$$

при впуску повітря в штокову порожнину

$$Q = p_{\text{п}} \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} \eta. \tag{2.10}$$

Якщо відомі сила на штоку та тиск повітря у заводській мережі, то визначається діаметр пневмоцилиндра, який округляється до найближчого стандартного (табл. 2.1):

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi p_{\text{п}} \eta}}. \qquad (2.11)$$

Таблиця 2.1 – Діаметри пневмоциліндрів двосторонньої дії (ДСТУ 2517-94 (ГОСТ 3015-94) «Пневмоциліндри однобічної та двобічної дії. Загальні технічні вимоги і методи випробувань»)

D, мм	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	320

Як приклад конструкцій і параметрів нормалізованих пневматичних циліндрів (двосторонньої дії, пневмоциліндрів, що обертаються), які застосовуються в машинобудуванні, можна скористатися інформацією, представленою в [2].

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 важільних і пневматичних притискачів, вивчити інструкцію по техніці безпеки, відповісти на контрольні запитання викладача та отримати у нього дозвіл на виконання роботи.

4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНОСТІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

1. Важільні притискачі: конструкції, переваги і недоліки.
2. Навести приклади трьох основних силових схем важільних механізмів (притискачів). Проаналізувати переваги та недоліки кожної схеми.
3. Навести приклади конструкцій важільно-шарнірних механізмів, їх переваги і недоліки.
4. Які принципи розрахунку важільних механізмів?

5. Яким чином в розрахунках сил враховуються втрати на тертя в шарнірах важільних механізмів?

6. Які типи пневмоциліндрів використовуються в зварювальному виробництві?

7. Які переваги і недоліки пневмоциліндрів?

8. Які принципи розрахунків пневмоциліндрів?

9. Для чого очищується повітря, що подається в пневмоциліндр?

10. Для чого додається мастило в повітря, що подається в пневмоциліндр?

5 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ

5.1. Канцелярське приладдя для виконання ескізного проекту.

5.2. Вимірювальний інструмент (метрична лінійка, штангенциркуль).

5.3. Діючий кондуктор для складання панелі.

6 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

1. До практичної роботи 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 ураження електричним струмом студенти повинні діяти у відповідності із затвердженими інструкціями з охорони праці та пожежної безпеки.

7 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ

1. Ознайомитися з устроєм, принципом дії та технічними можливостями діючого кондуктора для збирання листових конструкцій панелі автомобіля.

2. Виконати виміри необхідних розмірів двох важільно-пневматичних притискачів кондуктора для їх розрахунку.

3. Виконати розрахунок важільно-пневматичних притискачів з використанням для цього даних, наведених в додатку А та скласти кінематичні схеми для кожного пристрою.

4. Оформити звіт.

8 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Мета роботи.

2. Стислий опис конструкції, принцип її дії та управління.

3. Виконати розрахунки двох важільно-пневматичних притискачів.

4. Виконати креслення кінематичної схеми важільно-пневматичних притискачів.

5. Висновки про виконану роботу.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

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

2. Березін Л.Я. Засоби технологічного оснащення зварювального виробництва. Навчальний посібник / Л.Я. Березін, М.М. Хоменко, А.С. Карпенко. – Чернігів: ЧДТУ, 2003. – 142 с.

3. Андрущенко М.І. Проектування технології відновлення та

зміцнення колінчастих валів коліно-важільних пресів. Частина 1. Аналіз умов роботи, характеру і механізмів зношування робочих поверхонь валів та вибір матеріалів для відновлення / М.І. Андрущенко, М.Ю. Осіпов, Р.А. Куликовський, О.Є. Капустян, Т.О. Акритова // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2017. – №4. – С. 33-38.

4. Андрущенко М.І. Проектування технології відновлення та зміцнення колінчастих валів коліно-важільних пресів. Частина 2. Технологічний процес та спеціальне обладнання для відновлення колінчастих валів / М.І. Андрущенко, М.Ю. Осіпов, Р.А. Куликовський, О.Є. Капустян, Т.О. Акритова // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2018. – №1. – С. 28-36.

Додаток А
Вихідні дані для розрахунку важільно-пневматичних притискачів

№ вар.	№ притискача	Діаметр поршня пневмоцилиндра, D, мм	Зусилля притиску деталі, W, Н	ККД механізму, η
1	1	Розрахувати	1500	0,92
	4	50	Розрахувати	0,82
2	1	Розрахувати	1600	0,90
	5	55	Розрахувати	0,83
3	2	Розрахувати	1550	0,95
	4	60	Розрахувати	0,83
4	2	Розрахувати	1650	0,93
	5	65	Розрахувати	0,84
5	3	Розрахувати	1700	0,91
	4	60	Розрахувати	0,84
6	3	Розрахувати	1800	0,90
	5	70	Розрахувати	0,83
7	1	Розрахувати	1850	0,89
	4	75	Розрахувати	0,82
8	1	45	Розрахувати	0,91
	5	Розрахувати	2300	0,81
9	2	50	Розрахувати	0,94
	4	Розрахувати	2400	0,84
10	2	80	Розрахувати	0,93
	5	Розрахувати	2450	0,82
11	3	75	Розрахувати	0,87
	4	Розрахувати	2500	0,84
12	3	90	Розрахувати	0,89
	5	Розрахувати	2550	0,85
13	1	85	Розрахувати	0,90
	4	Розрахувати	2600	0,85
14	1	100	Розрахувати	0,91
	5	Розрахувати	2650	0,84
15	2	105	Розрахувати	0,92
	4	Розрахувати	2800	0,86