

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**«Розробка технологічного процесу зміцнення
кулачків перемикача»**

Рівень вищої освіти перший бакалаврський

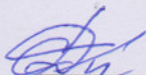
Галузь знань 13 Механічна інженерія

Спеціальність 132 Матеріалознавство

Освітня програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів

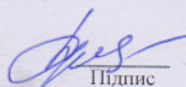
Шифр **КвРМТВА. 23116.02.15.00**

Виконав студент Зкурсу група МТВАс-23-2


Підпис

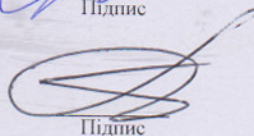
Дмитро СТЕПАНЮК

Керівник к.т.н., доцент каф. ТАМ


Підпис

Ольга ДРОБОТ

Нормоконтролер к.т.н., доцент каф. ТАМ


Підпис

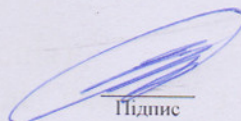
Олег БАБАК

До захисту допускаю:

Завідувач кафедри ТАМ д.т.н., проф.

9.06.2026

Дата


Підпис

Олександр ДИХА

Хмельницький, 2026

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

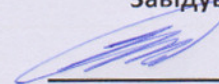
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства
Рівень вищої освіти перший бакалаврський

Галузь знань 13 Механічна інженерія

Спеціальність 132 Матеріалознавство

Освітня програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТАМ

 Диха О.В.

14.05 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Степанюку Дмитру Володимировичу
Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: **Розробка технологічного процесу зміцнення кулачків перемикача.**

керівник роботи: Дробот Ольга Савівна, доцент каф. ТАМ.
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 20.01.2026 р. № 7 (Д 14)

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 16.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) *Матеріали курсових проектів, робіт, практики.*

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1) *Аналіз конструктивних особливостей та умови роботи кулачків.*

2) *Основи вибору матеріалу та методи виготовлення кулачків.*

3) *Аспекти обробки кулачків для виготовлення деталі.*

4 *Висновки.*

5. Перелік графічного матеріалу (презентація):

Розробити презентацію у вигляді слайдів з розкриттям питань відповідно до мети роботи.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Огляд літературних джерел	10.05.2024	
2	Технологічна частина	20.05.2024	
3	Експериментальна частина	30.05.2024	
4	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	05.06.2024	
5	Оформлення презентаційних матеріалів	06.06.2024	
6	Нормоконтроль бакалаврської роботи	10.06.2024	
7	Підписання розділів . Затвердження дати захисту	11.06.2024	

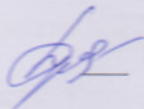
Студент



Дмитро Степанюк

Підпис

Керівник проекту (роботи)



Ольга Дробот

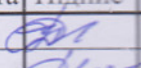



Підпис

7. Дата видачі завдання 14.05 2026 р.

Зміст

ВСТУП.....	.....
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ ДЕТАЛІ «Кулачок».....	.....
1.1. Призначення та види кулачків.....	.....
1.2. Призначення пристрою регулювання напруги трансформатора....	.....
РОЗДІЛ 2. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	.....
2.1. Характеристика матеріалів для кулачків.....	.....
2.2. Характеристика способів виготовлення кулачків.....	.....
2.2.1. Ливарні роботи доля виготовлення кулачків.....	.....
2.2.2. Заготовки кулачків механічним та електроерозійним способом..	.....
2.2.3. Точіння кулачків на токарних станках.....	.....
2.2.4. Пресування кулачків та інших деталей в машинобудуванні.....	.....
2.2.5. Фрезерування деталей в процесі машинобудування.....	.....
2.2.6. Термічна обробка сталі та введення легувальних елементів для покращення характеристик.....	.....
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА. ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	.....
3.1. Вибір матеріалу деталі «кулачка».....	.....
3.1.1. Аналіз вибраного матеріалу.....	.....
3.1.2. Хімічний аналіз складу деталі.....	.....
3.1.3. Вибір ріжучого інструменту для виконання операцій.....	.....
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «Кулачок».....	.....
4.1. Вхідний контроль матеріалу для виготовлення кулачка.....	.....
4.2. Вибір матеріалу для виготовлення кулачка.....	.....
4.3. Вибір способу виготовлення кулачка.....	.....
4.4. Маршрутна технологія виготовлення кулачка.....	.....
4.5 Охорона праці при виконанні операцій з виготовлення кулачка..	.....
Висновки.....	.....
ЛІТЕРАТУРА.....	.....

КвРМТВА. 23116.02.15.00

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата			
Розроб.		Степанюк			Розробка технологічного процесу зміцнення кулачків перемикача		
Перев.		Дробот						Літера	Аркуш	Аркушів
Н. контр.		Бабак			н	4	67
Затв.		Диха			ХНУ МТВАс-23-2		

ВСТУП

Матеріалознавство — це міждисциплінарна наука, що вивчає зв'язок між властивостями матеріалів, їх складом. Інтерес представляє технологія отримання матеріалів, застосування в конструкціях промислових виробів.

Галузь вивчає природні та штучні матеріали, будову таких матеріалів на рівні атомів та методи їх обробки для подальшого використання в промисловості та побуті.

Матеріалознавство проводить дослідження властивостей необхідних матеріалів на рівні фізичних, хімічних, механічних та технологічних (для обробки) характеристик, досліджує вплив окремих хімічних елементів в структурі та який мають вплив різні домішки на поведінку матеріалу в різноманітних виробничих чи природних умовах.

Особливо важливим є сторона розробки методів отримання матеріалів, термообробки та обробки матеріалів для надання їм необхідних експлуатаційних характеристик.

Без знання можливостей, характеристик матеріалів, поведінки їх при підвищених температурах, в умовах вакууму та інших крайніх проявах космічного чи виробничого простору неможливе ефективне використання матеріалів для авіації, космонавтики, транспорту та медицини. Можливості матеріалів виникають в тому числі від походження (природні, штучні), складу (метал, полімер і т.д.).

Термін «матеріал» об'єднує речовини, що мають певний хімічний і фазовий склад, структуру та сукупність корисних для людини чи виробництва властивостей. Матеріалом можна назвати продукт усвідомленого виробничого оброблення сировини працівником з метою досягнення заданої групи властивостей та експлуатаційних можливостей у відповідних природних чи виробничих умовах. Різноманітні матеріали в людському середовищі потрібні повсюдно, але обирають їх на основі знань людей (спеціалістів) для сільського господарства, військових цілей, дослідження природного середовища.

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		5

Кулачковим називають механізм, що складається з кулачка (ведучої ланки з профілем змінної кривини), штовхача або коромисла (веденої ланки) та стояка, утворюючи вищу кінематичну пару. Він призначений для перетворення обертального або поступального руху кулачка у заданий, часто складний, рух веденої ланки.

Кулачковий механізм — механізм, що утворює вищу кінематичну пару, який має рухому ланку, що здійснює обертальний рух, — кулак (кулачок), з поверхнею змінної кривизни або у формі ексцентрика, що взаємодіє з іншим рухомим ланцюгом — штовхачем, якщо рухомий ланцюг здійснює прямолінійний рух, або коромислом, якщо рухомий ланцюг здійснює коливання.

Кулачкові механізми застосовують для механічного відтворення математичних функцій, автоматичного замикання та розмикання електричних кіл, перетворення обертового руху в поступальний за заданим законом, керування рухом робочих органів за заданою програмою.

Головним недоліком кулачків та й кулачкового механізму є дорожнеча виготовлення профілів. Це завдання вирішується застосуванням лиття.

Другим недоліком є відносно мала навантажувальна здатність, внаслідок тертя ковзання кулачка і штовхача по лінії, а також через значні бічні зусилля на штовхач при різких переміщеннях[1].

Вибір матеріалу для виготовлення кулачків визначається заданою надійністю і довготривалістю їх роботи, що залежить переважно від зношування робочих поверхонь кулачків. З цією метою використовують сталі марок 35, 45, 30Х, 35Х, які піддаються поверхневому загартуванню.

При виготовленні кулачків необхідно забезпечити такі основні вимоги: точність відтворення робочої криволінійної поверхні, точність розташування робочої поверхні відносно посадкових поверхонь, твердість і зносостійкість робочої поверхні, малу шорсткість робочої поверхні [2].

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ ДЕТАЛІ «Кулачок»

1.1. Призначення та види кулачків

					КВРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Зазвичай механізм має триланкову структуру — кулачок, штовхач, стояк. Механізм створює необхідний періодичний закон руху штовхача (переміщення, швидкість, прискорення). Кулачок найчастіше обертається, а штовхач здійснює поступальний рух або коливання (можна назвати виконавчий).

Штовхачі бувають гостроконечні, роликові (для зменшення тертя) або плоскі. Кулачкові механізми широко використовуються у системах газорозподілу двигунів внутрішнього згорання, верстатах-автоматах та механізмах автоматики[3].

Загальний вигляд кулачкових механізмів, що використовуються в промислових пристроях, представлений на рис.1.1.

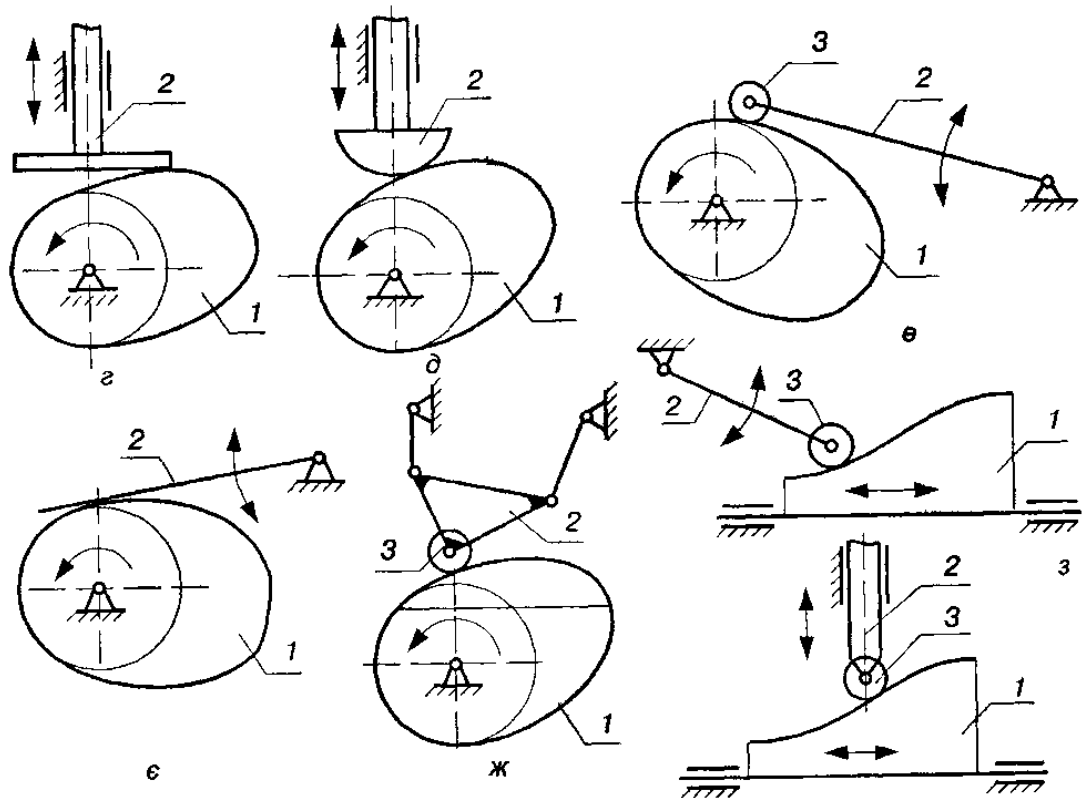


Рис.1.1. Загальний вигляд кулачкових механізмів промислових пристроїв
1-кулачок, 2-стояк, 3-штовхач

Інший варіант різновидів кулачкових механізмів представлено на рис 1.2.

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

Кулачкові механізми класифікуються за певними ознаками (див. рис. 1.2.):

-за видом вхідної ланки: з кулачком (поз. 1, 2, 3, 4, 5, 7); з копіром (поз. 6);

-за розміщенням ланок у просторі:
просторові (поз. 7); плоскі (поз. 1-6);

-за видом руху вихідної ланки:

зворотно-поступальний (із штовхачем) (поз. 1, 2); зворотно-коливний (з коромислом) (поз. 3-7);

-за видом кулачка: дисковий (плоский) (поз. 1-6); циліндричний (поз. 7); складний просторовий;

-за формою робочої поверхні вихідної ланки: плоска (поз. 2, 4); загострена; циліндрична; сферична; евольвентна; з роликом (поз. 1, 3, 5, 6, 7)

-за способом замикання елементів вищої пари: силове (поз. 3, 6, 7); геометричне (поз. 5, 7);

-за параметрами руху штовхача (коромисла): механізми, що забезпечують переміщення по заданому закону руху; механізми, що забезпечують тільки задані крайні положення виконавчої ланки, при цьому закон переміщення

Рис.1.1. Загальний вигляд кулачкових механізмів промислових пристроїв

1-кулачок, 2-стояк, 3-штовхач

Інший варіант різновидів кулачкових механізмів представлено на рис. 1.2.

					КВРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		8

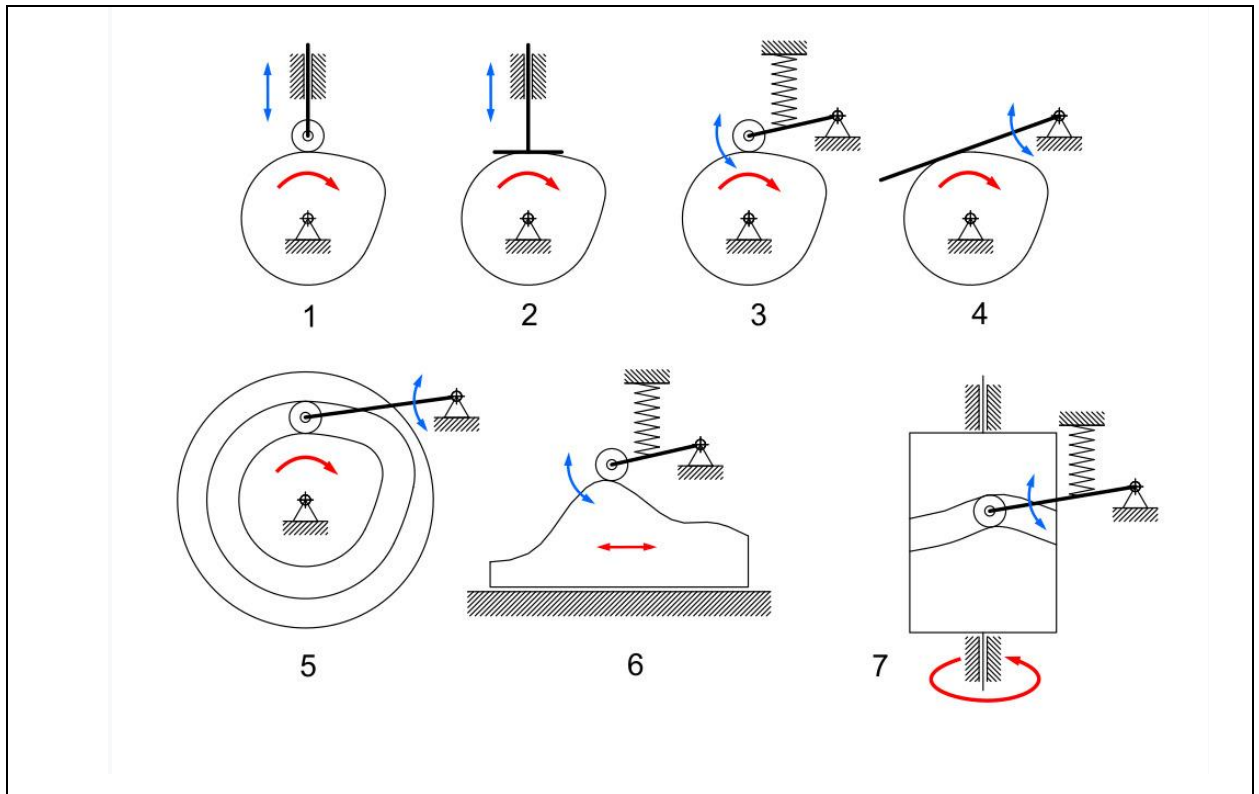


Рис 1.2. Різновиди кулачкових механізмів

Кулачкові механізми класифікуються за певними ознаками (див. рис. 1.2.):

-за видом вхідної ланки: з кулачком (поз. 1, 2, 3, 4, 5, 7); з копіром (поз. 6);

-за розміщенням ланок у просторі:
просторові (поз. 7); плоскі (поз. 1-6);

-за видом руху вихідної ланки:

зворотно-поступальний (із штовхачем) (поз. 1, 2); зворотно-коливний (з коромислом) (поз. 3-7);

-за видом кулачка: дисковий (плоский) (поз. 1-6); циліндричний (поз. 7);

складний просторовий;

-за формою робочої поверхні вихідної ланки: плоска (поз. 2, 4); загострена;

циліндрична; сферична; евольвентна; з роликом (поз. 1, 3, 5, 6, 7)

-за способом замикання елементів вищої пари: силове (поз. 3, 6, 7); геометричне (поз. 5, 7);

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата
-----	------	-------------	--------	------

-за параметрами руху штовхача (коромисла): механізми, що забезпечують переміщення по заданому закону руху; механізми, що забезпечують тільки задані крайні положення виконавчої ланки, при цьому закон переміщення обирається з набору типових законів руху у залежності від умов експлуатації та технології виготовлення.

В нашому випадку кулачок, представлений на рис.1.3 є елементом пристрою перемикачів відгалужень обмоток трансформатора під навантаженням РПН (регулювання під навантаженням) типу РНТА.

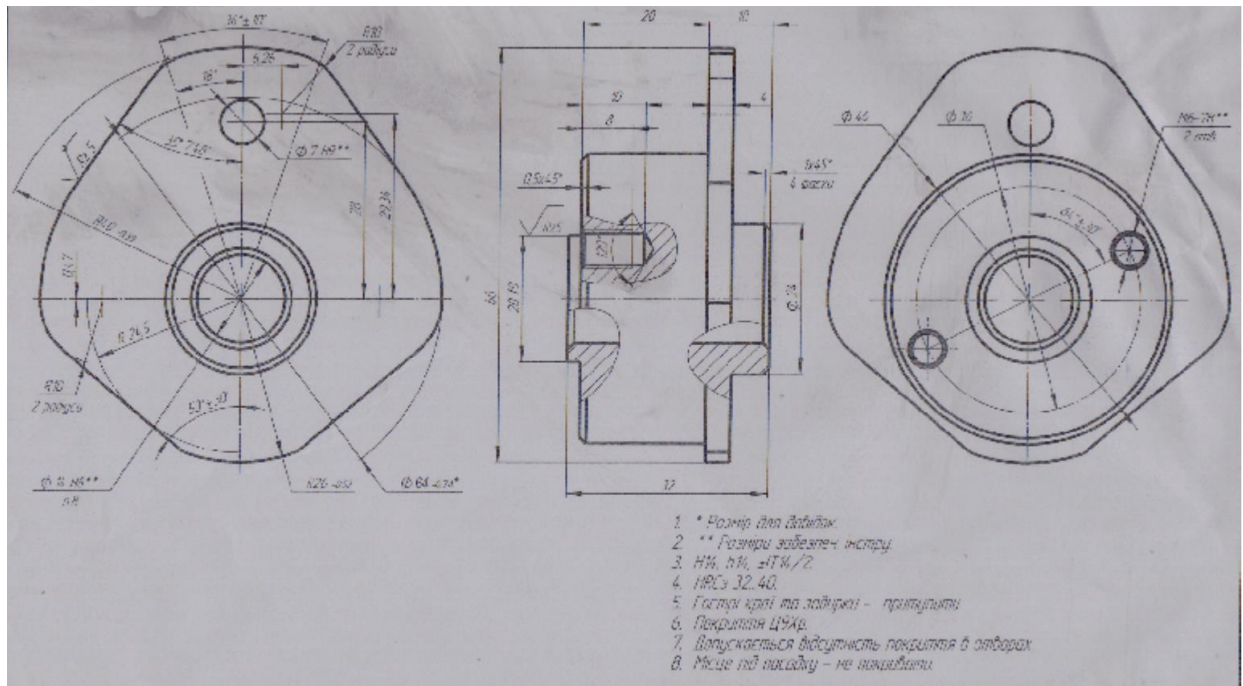


Рис.1.3. Кулачок, який використовується в пристрої перемикачів відгалужень обмоток трансформатора під навантаженням

Перемикач РПН також називається перемикачем регулювання напруги, який в основному поділяється на перемикач РПН під навантаженням і без навантаження. Пристрій РПН встановлюється в нейтраль обмоток високої напруги трансформатора і призначений для ступінчастої зміни коефіцієнта трансформації понижувальних трансформаторів потужністю від 1 до 6,3 МВ•А напругою 10-35 кВ.

1.2. Призначення пристрою регулювання напруги трансформатора

Пристрої регулювання напруги трансформатора під навантаженням (РПН, англ. OLTC — On-Load Tap-Changer) — це механізми, що

дозволяють змінювати коефіцієнт трансформації та регулювати вихідну напругу без відключення споживачів. Вони забезпечують автоматичну або дистанційну

зміну відгалужень обмоток, підтримуючи стабільну напругу в мережах 10/0,4 кВ (які, в основному, використовуються на виробництві).

Регулятор напруги трансформатора забезпечує стабільну вихідну напругу, коригуючи її коливання, спричинені змінами навантаження або вхідної потужності. Він підтримує напругу в заданих межах, що необхідно для стабільного функціонування обладнання, захисту від пошкоджень та мінімізації втрат електроенергії.

Перемикачі відводів під навантаженням — це пристрої, вбудовані в силові трансформатори для регулювання вторинної напруги шляхом зміни кількості витків обмотки без відключення трансформатора від мережі. Це забезпечує безперервність електропостачання та стабільну якість напруги при зміні навантаження під час роботи обладнання.

Перемикач відгалужень у силовому трансформаторі – це механізм, який регулює коефіцієнт витків діючого трансформатора для регулювання вихідної напруги, забезпечуючи стабільність, незважаючи на коливання в електромережі. Без цієї функції електропостачання було б ненадійним, що призводило б до неефективності та потенційного пошкодження обладнання.

Перемикач дозволяє змінювати коефіцієнт трансформації в реальному часі, коли трансформатор знаходиться під навантаженням та автоматично підтримує стабільний рівень напруги на вторинній стороні, нівелюючи падіння напруги при високому споживанні підприємствами [4].

Перемикання відбувається між відводами обмотки за допомогою механічного перемикача, часто оснащеного реактором або простим резистором для запобігання короткому замиканню між витками під час перемикання.

Використовуються перемикачі в потужних трансформаторах на підстанціях, де неприпустимі перерви в живленні споживачів. Використання перемикача під напругою підвищує надійність електромережі

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		11

та продовжує термін служби обладнання завдяки підтриманню оптимального рівня напруги (який і повинен бути підтриманий згідно з державного стандарту).

Перемикач відгалужень силового трансформатора зазвичай встановлюється на обмотці високої напруги, оскільки регулювання сторони високої напруги дозволяє керувати меншим струмом, що простіше.

Перемикач відгалужень у силовому трансформаторі може здаватися невеликим компонентом, але він відіграє величезну роль у стабілізації подачі енергії. Система ручного розвантаження для менших трансформаторів, чи то складний автоматичний перемикач відгалужень під навантаженням силового трансформатора для високовольтних мереж, мета одна: надійне регулювання напруги по нижній стороні трансформатора тобто по стороні споживача.

Регулювання напруги означає здатність трансформатора підтримувати постійну вихідну напругу в заданих межах, незважаючи на коливання вхідної напруги або коливання навантаження. Трансформатори відповідають за підвищення або зниження рівнів напруги за потреби, сприяючи ефективній передачі електричної енергії на великі відстані [5].

Оскільки енергетичні мережі розвиваються з використанням відновлюваних джерел енергії та динамічних навантажень, перемикачі відводів залишатимуться однією з найважливіших функцій, що забезпечують безпечне та ефективне постачання електроенергії споживачам.

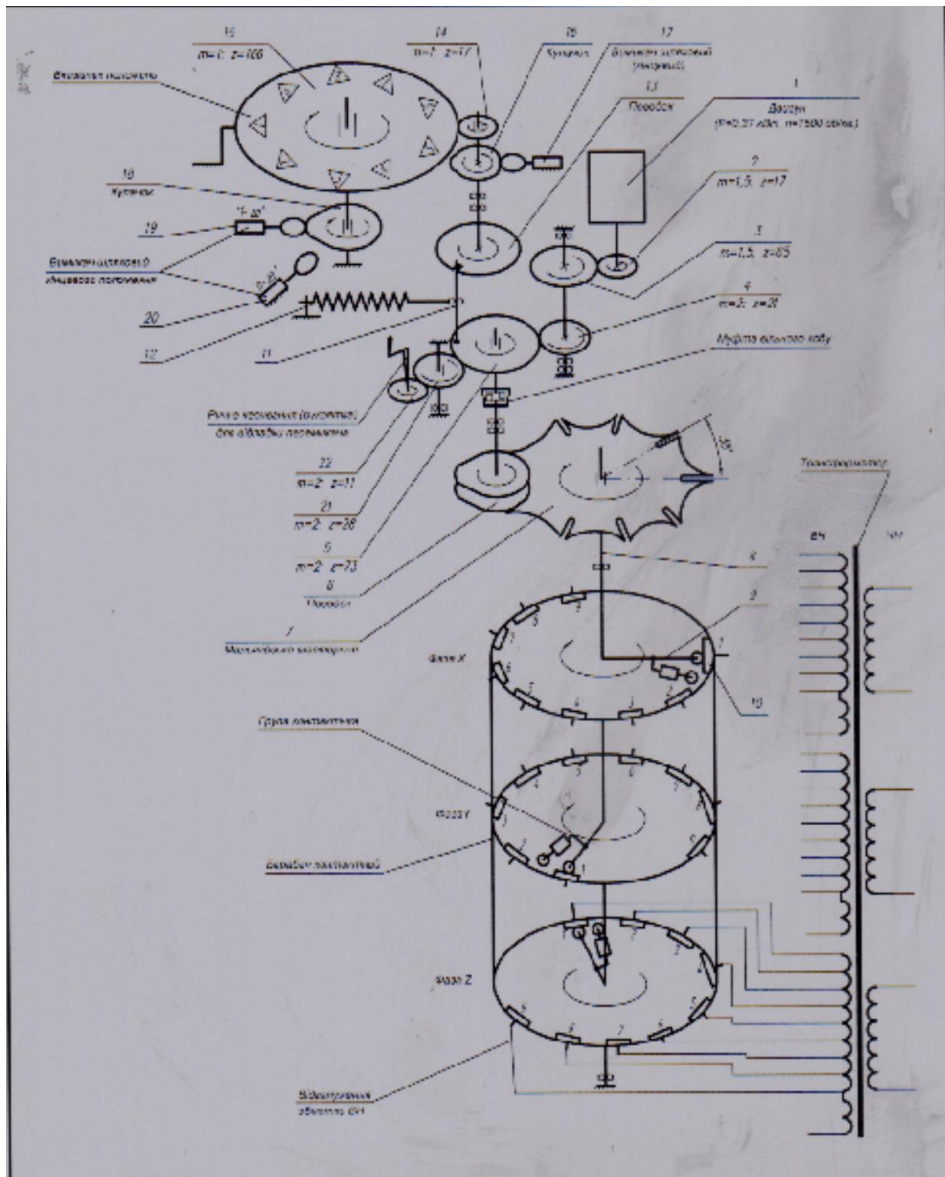
Як керувати регулюванням напруги під навантаженням? Методи регулювання напруги під навантаженням включають електричне регулювання та ручне регулювання напруги (як правило з відключенням мережі).

Суть регулювання напруги під навантаженням полягає в регулюванні напруги шляхом зміни коефіцієнта трансформації високовольтної сторони, при цьому напруга низьковольтної сторони залишається незмінною (та не

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		12

переривається). Всім відомо, що високовольна сторона зазвичай є напругою системи, а напруга системи зазвичай постійна.

Кінематична схема пристрою регулювання напруги трансформатора під навантаженням представлена нижче на рис.1.4.



Коли кількість витків обмотки високовольної сторони збільшується (тобто коефіцієнт трансформації збільшується), напруга низьковольтної сторони зменшується; навпаки, коли кількість витків обмотки високовольної сторони зменшується (тобто коефіцієнт трансформації зменшується), напруга низьковольтної сторони збільшується (так підтримується постійність напруги на стороні споживача).

Пристрій РПН (рис.1.3) виконаний за принципом перемикача

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата
-----	------	-------------	--------	------

навантаження, тобто функції обирача та контактора (перемикач 1) суміщені в одному вузлі і за конструкцією погрузного типу. Поза баком розташований

несучий фланець 2 і приводна частина механізму перемикання, а також шафа керування 3, яка встановлюється окремо на баці трансформатора. Приводна частина складається зі слідуєчих елементів: – передачі зубчатої та пружини (4) для доведення рухомих контактів до фіксованого положення у випадку втрати живлення 5 електродвигуна у момент перемикання, які розташовані у середовищі трансформаторного масла; – механізму блокування (5), який складається з електродвигуна, елементів приводу (шестерні, кулачок), покажчика положень та кінцевих вимикачів.

Перемикач складається з таких елементів: – барабан контактний – це ізоляційний циліндр (6), внутрішня частина якого герметизована знизу алюмінієвим фланцем (7), а зверху корпусом (2). На ізоляційному циліндрі (6) закріплені нерухомі контакти (8), з котрими з'єднуються відгалуження обмотки трансформатора; – рухома контактна група, яка вміщує бакелітовий циліндр (9) з встановленими на ньому рухомими контактами (10), струмообмежуючими резисторами (11) та шестерні мальтійської (у верхній частині).

Пристрій РПН працює в трансформаторному маслі, при температурі масла у верхніх шарах 100°C, мінімальна температура масла мінус 25°C (без проведення перемикання до мінус 45°C). Перемикання напруги при низьких температурах навколишнього середовища не бажано через підвищення вязкості трансформаторного масла що може привести до порушень чи відмові в роботі пристрою [6].

Загальний вигляд пристрою РПН встановленого на трансформатор представлено на рис. 1.5.

					КВРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

В той же час допускається робота пристрою РПН при короткочасних аварійних перевантаженнях трансформатора, з підвищеною температурою масла в пристрої РПН згідно з вимогами ДСТУ 3463-96 «Керівництво з навантаження силових масляних трансформаторів».

Рухомі контакти – це три групи роликів контактів (по одній на фазі), які розташовані по висоті циліндра та розвернені відносно один одного на 120° .

Кожна група складається з двох контактів: головного та контакту дугогасіння, останній розташований нижче головного контакту по висоті та розвернутий відносно до нього на 120° . Кожен контакт складається з мідного ролика на струмоведучій осі, яка закріплена у корпусі, останній закріплюється болтами до циліндру. Контактний тиск забезпечується пружинами.

Приводна частина складається зі слідуючих елементів: – передачі зубчатої та пружини для доведення рухомих контактів до фіксованого положення у випадку втрати живлення електродвигуна у момент перемикачання, які розташовані у середовищі трансформаторного масла; – механізму блокування, який складається з електродвигуна, елементів приводу (шестерні, кулачок), покажчика положень та кінцевих вимикачів.

Перемикач складається з таких елементів: – барабан контактний – це ізоляційний циліндр, внутрішня частина якого герметизована знизу алюмінієвим фланцем, а зверху корпусом. На ізоляційному циліндрі закріплені нерухомі контакти, з котрими з'єднуються відгалуження обмотки трансформатора; – рухома контактна група, яка вміщує бакелітовий циліндр з встановленими на ньому рухомими контактами, струмообмежуючими резисторами та шестерні мальтійської (у верхній частині). Рухомі контакти – це три групи роликів контактів (по одній на фазі), які розташовані по висоті циліндра та розвернені відносно один одного на 120° . Кожна група складається з двох контактів: головного та контакту дугогасіння, останній розташований нижче головного контакту по висоті та розвернутий відносно до нього на 120° . Кожен контакт складається з мідного ролика на

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		16

струмоведучій осі, яка закріплена у корпусі, останній закріплюється болтами до циліндру.

Трансформатор в електромережі виконує важливу роль, яку можна визначити такими основними задачами. Трансформатори збільшують напругу після генераторного обладнання щоб зменшити силу струму та знизити втрати електроенергії під час транспортування на великі відстані до конкретних споживачів-промислових чи побутових підприємств-господарств. Але трансформатори понижують високу напругу до рівня, необхідного для живлення житлових будинків, підприємств та комерційних об'єктів.

Схема підключення арматури пристрою РПН на трансформаторі представлена на рис.1.6.

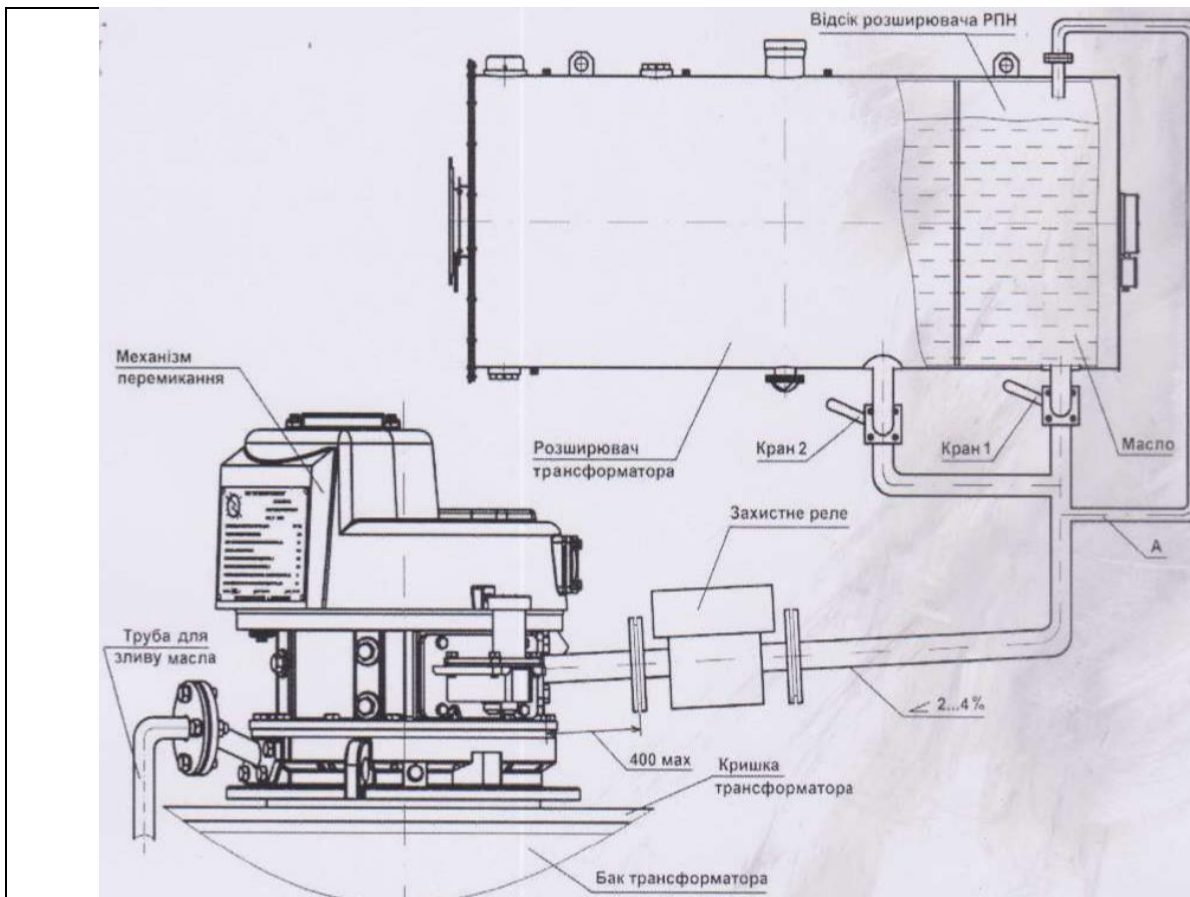


Рис.1.6. Схема підключення арматури пристрою РПН на трансформаторі

Тому робота всього комплексу обладнання, яке виробляє, трансформує та

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

передає електричний потік, забезпечуючи живлення як побутових так і промислових об'єктів є дуже важливою для забезпечення постійного електропостачання. Перелік обладнання, що використовується для переключення трансформатора під навантаженням, його важливість для забезпечення постійного та безперебійного електропостачання свідчить про підвищені вимоги надійності до всього обладнання та окремих деталей, які мають забезпечувати цей процес.

Надійність постачання електроенергії в Україні, в області станом на 2026 рік залишається питанням підвищеної уваги через наслідки військових дій, які породжені російською державою, що вимагає гнучкого управління енергосистемою та впровадження заходів з її відновлення та захисту.

Надійність енергосистеми є відносною величиною але визначається як здатність енергосистеми (всіх її складових) виконувати функції з виробництва, передачі, розподілу й постачання промислових та побутових споживачів електричною енергією в необхідній та достатній кількості за відповідними державними стандартами. Енергосистема має задовольняти у будь-який момент часу (нічний, денний) загальний попит на якісну електроенергію; протистояти перехідним процесам визваним погодними катаклізмами, відмовами елементів енергосистеми, військовим діями та відновлювати свої функції після їх порушення перерахованими факторами.

Електростанції в Україні виробляють електроенергію, використовуючи гідроенергію річок, газ, вугілля та атомну енергію. Останніми роками широке застосування отримують відновлювані джерела енергії-сонячні панелі, вітрові електростанції. В цій енергосистемі однією з важливих складових частин є трансформатори, які відповідно підвищують напругу для передачі на великі відстані та понижаючі трансформатори, що забезпечують подачу електроенергії промисловим та побутовим споживачам.

Робота трансформаторного обладнання та його збереження від аварій є важливою частиною роботи обслуговуючого персоналу тому нагляд за

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		18

надійністю роботи вузлів, обмоток трансформатора, перемикаючого обладнання повинні бути постійною заботою.

На схемах (нижче) показані пристрої автоматичного вводу резерву (АВР) призначені для відновлення живлення споживачів. Пристрої АВР забезпечують подачу електроенергії від двох або кількох незалежних взаємно резервованих джерел живлення.

Сфери застосування АВР промислові підприємства, де необхідна безперебійна подача живлення; офісні, комерційні будинки, де можливий перепад напруги.

Схеми живлення електропостачання за допомогою трансформаторного обладнання представлено на рис.1.7.

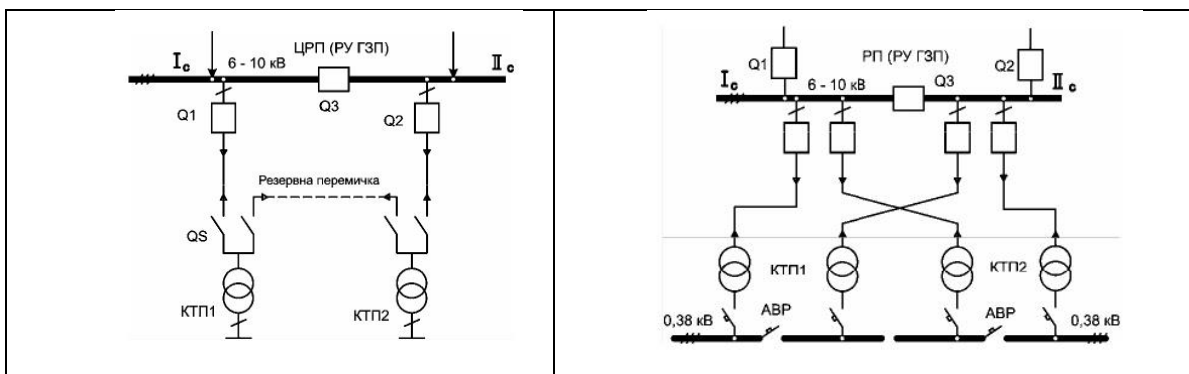


Рис.1.7. Схеми живлення електропостачання за допомогою трансформаторного обладнання

ЦРП-центральний розподільчий пункт; Q – вимикачі; QS – роз'єднувачі, ЦРП (РУ ГЗП) — (РУ) розподільний пристрій (ЦРП) Центрального розподільного пункту головної знижувальної підстанції (ГЗП); КТП-комплектна трансформаторна підстанція, АВР-автоматичний ввід резерву.

Висновок: робота кулачка під важким навантаженням призводить до інтенсивного зносу, тепловиділення та ризику заклинювання механізму. Постійний контакт в роботі призводить до стирання профілю кулачка. При високих швидкостях та тиску на кулачок виникає тертя, яке нагріває матеріал та може порушити допуски та роботу елементів деталей.

Все викладене показує наскільки важливою та надійною має бути робота

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата
-----	------	-------------	--------	------

систем електропостачання (і кулачка) та окремих елементів для забезпечення надійності роботи всього електротехнічного комплексу.

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		20

РОЗДІЛ 2. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

2.1. Характеристика матеріалів для кулачків

Кулачки, бувають різноманітних профілів: трикутного, трапецеїдального, прямокутного - відповідно для малих, середніх і великих навантажень. Кулачки прямокутного профілю потребують точного взаємного кутового розташування у момент вмикання і, не створюють відтискаючих сил при роботі муфт. У з'єднаннях із трапецеїдальними кулачками, внаслідок нахилу опорних поверхонь, виникають осьові сили, які прагнуть розсунути деталі й утрудняють вмикання. Гострокутні профілі полегшують вмикання, але потребують осрової сили підтискання тим більшої, чим більше значення кута α профілю (для трикутного профілю $\alpha = 30 \dots 45^\circ$). Асиметричний профіль кулачків застосовують у нереверсивних механізмах для полегшення вмикання леталей. Кулачки прості у виготовленні і малогабаритні. Недолік кулачків - неможливість вмикання на швидкому ході. Щоб уникнути сильних ударів і ушкодження кулачків, вмикання деталей роблять без навантаження при максимальній різниці колових швидкостей на кулачках не більш 1 м/с. Критеріями працездатності кулачків є зносостійкість та міцність на згин кулачків. Зношування кулачків відбувається внаслідок їх відносного переміщення (ковзання) під навантаженням у момент вмикання та вимикання деталей при обертанні.

Для виготовлення кулачків переключення (або ексцентрикових кулачків) використовують сталі, що забезпечують високу зносостійкість і міцність на згин. Найкраще підходять леговані сталі типу **20X** з цементацією (глибина 0.8–1.2 мм) та загартуванням до твердості **HRC₃ 55–61**. Також застосовують сталі **35, 45, 30X, 35X** з поверхневим загартуванням та високовуглецеві сталі **У8, У8А, У10, У10А**.

Матеріал кулачків - сталь 20X або сталь 20XH. Для підвищення зносостійкості робочі поверхні кулачків цементують і загартовують до твердості не нижче 54-60 HRC.

Сталь 20X — це конструкційна легована хромиста сталь (0.17-0.23% С,

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		21

~1% Cr), Марганець (Mn): 0.5–0.8%, що вирізняється високою поверхневою твердістю після цементації прив'язкій серцевині. Основна термообробка включає цементацію (920–950°C), загартування (830–870°C у маслі) та низький відпуск (150–200°C), що забезпечує зносостійкість. Основні характеристики сталі 20 визначаються такими характеристиками: висока зносостійкість, середня міцність, добра оброблюваність різанням, низька схильність до відпускнуї крихкості. Застосовується у втулки, шестерні, вали, диски, пальці та інші цементовані деталі, що працюють на знос. Зварюваність без обмежень (для нецементованих деталей) [7].

Термообробка проводиться для зміцнення поверхні та покращення механічних властивостей деталей. При цьому цементація проводиться при 920–950°C для насичення поверхні вуглецем. Загартування виконується при температурі загартування: 830–870°C (за іншими даними авторів 800°C після цементації). Для охолодження використовується масло (рекомендовано) або вода. Відпуск вимагає температури 150–200°C (низький відпуск). Мета відпуску-зняття внутрішніх напружень, підвищення в'язкості.

Нормалізація проводиться при 900–950°C для вирівнювання структури сталі.

Механічні властивості (після ТО) це висока твердість, яка досягає високих значень по Брінеллю поверхневого шару після цементації [8].

Сталь 20ХН – це конструкційна легована хромонікелева сталь, що використовується для деталей, які потребують високої в'язкості та помірної прогартовуваності. Вона містить приблизно 0.20% вуглецю, до 1% хрому та до 1% нікелю, що забезпечує міцність, зносостійкість при цементації та здатність працювати під навантаженням.

Основні характеристики та використання можуть бути шестерні, втулки, пальці, вали, деталі кріплення, що працюють під помірними навантаженнями. Має високу в'язкість серцевини, зносостійку поверхню після цементації, хорошу оброблюваність різанням.

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		22

Сталь 45. З цієї марки виготовляють широку номенклатуру виробів, яким потрібна підвищена міцність. Часто роблять вали, осі, зірочки, кулачки, кришки для ударів під температурою. Всі свої властивості, закладені за характеристиками для деталей, сталь 45 отримує при певних технічних процесах, таких як термообробка і загартування. Хімічний склад сталі 45 у відповідності з ДСТУ 7809-2015 представлено в табл.2.1.

Таблиця 2.1. Хімічний склад сталі 45 у відповідності з ДСТУ 7809-2015, %

	C	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	As	Se
0,42-0,50	0,005-0,030	0,020-0,035	0,005-0,015	0,005-0,015	0,005-0,015	0,005-0,015	0,005-0,015	0,005-0,015	0,005-0,015	0,005-0,015

Термічнообробка сталі 45 (вуглецева якісна конструкційна) для досягнення високої твердості (М1 - зазвичай гартування + низький відпуск) передбачає нагрівання до 830--850°C, витримку та охолодження у воді або олії. Характеризується високою міцністю (600—700 МПа), твердістю (HRC 40--50), зносостійкістю та обмеженою зварюваністю [9].

Сталі 35, 45, 30Х та 35Х — це конструкційні матеріали, де 35/45 — якісні вуглецеві (середня міцність, добра оброблюваність), а 30Х/35Х — хромисті леговані (висока міцність, загартовуваність). Сталь 45 є універсальною для навантажених деталей, тоді як 30Х та 35Х використовуються для деталей, що потребують покращення (вали, шестерні).

Високовуглецеві інструментальні сталі У8, У8А, У10 та У10А — це якісні (У8, У10) та високоякісні (У8А, У10А) сплави, що містять 0,8–1,0% вуглецю. Вони мають високу твердість, міцність та зносостійкість після

гартування, але низьку теплостійкість, тому використовуються для інструментів без значного нагріву під час роботи.

Основні елементи муфти –**кулачки**,бувають різноманітних профілів:трикутного, трапецеїдального, прямокутного- відповідно для малих, середніх і великих навантажень. Кулачки прямокутного профілю потребують

точного взаємного кутового розташування півмуфт у момент вмикання і, внаслідок малих бічних зазорів, мають затруднене вмикання, але не створюють відтискаючих сил при роботі муфти. У муфтах із трапецеїдальними кулачками, внаслідок нахилу опорних поверхонь, виникають осьові сили, які прагнуть розсунути півмуфти й утрудняють вмикання.

Гострокутні профілі полегшують вмикання, але потребують осьової сили підтискання тим більшої, чим більше значення кутапрофілю (для трикутного профілю $\text{кут} = 30\dots45^\circ$).Асиметричнийпрофіль кулачків застосовують у нереверсивних механізмах для полегшення вмикання муфти.

Недоліккулачкових муфт - неможливість вмикання на швидкому ході. Щоб уникнути сильних ударів і ушкодження кулачків, вмикання муфти роблять без навантаження при максимальній різниці колових швидкостей на кулачках не більш 1 м/с.Критеріями працездатності кулачковихмуфт є зносостійкість та міцність на згин кулачків.Зношування кулачків відбувається внаслідок їх відносного переміщення (ковзання) під навантаженням у момент вмикання та вимикання муфти при обертанні.

Розрахунок на зносостійкістьпроводять по середньому тиску на робочих поверхнях у припущенні рівномірної роботи усіх кулачків. Розрахунок на міцність по напруженнях згину біля основи кулачка проводять у припущенні неповного вмикання (сила прикладена до вершини кулачка) [10].

2.2. Характеристика способів виготовлення кулачків

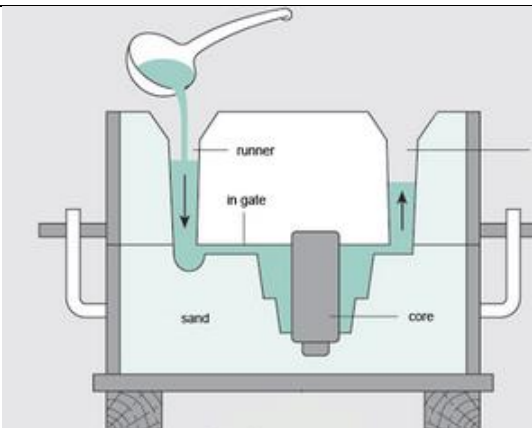

2.2.1. Ливарні роботи доля виготовлення кулачків.

					КВРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		24

Литво - один з найстародавніших способів обробки металів. Археологічними дослідженнями встановлено, що вже за 5000 і більше років до нашої ери в стародавніх центрах людської культури (Греція, Етрурія) ливарне ремесло і мистецтво досягли високого рівня та продовжує використовуватись в сьогоденні умовах для забезпечення заготовками машинобудівного виробництва для різноманітних галузей промисловості.

Ливарні роботи — це технологічний процес виготовлення металевих деталей (виливків) шляхом заливки розплавленого металу в спеціальні ливарні форми. Основні етапи включають виготовлення модельного оснащення, формування, плавлення металу, заливку, охолодження, вибивання та очищення деталей. Сировиною для литва використовуються чавун, сталь та кольорові сплави [11].

На рис.2.1 та рис.2.2 представлені схема ливарного виробництва та лиття у піщано-глинясту форму.

	
<p>Рис.2.1 Схема ливарного виробництва</p>	<p>Рис.2.2 Лиття у піщано-глинясту форму</p>



2.2.2. Заготовки кулачків механічним та електроерозійним способом

Заготовки деталей кулачків у машинобудуванні виготовляють різними способами – нарізанням з нормального або спеціального прокату, литтям, куванням, штампуванням, зварюванням. Загальна вимога до заготовок деталей кулачків – форма і розміри заготовки повинні бути близькими до форми і розмірів готової деталі, щоб на механічну обробку зняттям стружки

залишалась лише фінішна операція для таких поверхонь деталі, які вимагають високої точності [14].

Види механічної обробки деталей представлені на рис. 2.1-2.4.

Електрохімічний спосіб обробки є одним із нових способів обробки заготовок та може бути представлений універсальністю так як опрацьовує тверді сплави, сталь, титан, алюміній.

			
Рис.2.1 Обробка свердлуванням	Рис.2.2 Порізка заготовок	Рис.2.3 Штампування заготовок	Рис.2.4 Електроерозійний верстат

При цьому якість поверхні характеризується відсутністю механічних напружень, малою шорсткістю поверхні. Анод (заготовка) розчиняється, а продукти реакції (шлам) видаляються (що дуже важливо) потоком електроліту. Обробка застосовується для електрохімічного полірування (згладжування поверхні) електрохімічного прошивання отворів у деталі [15].

Обробка проводиться в спеціальних установках, які включають джерела струму (випрямлячі), системи подачі електроліту та фільтрації.

Електрохімічна обробка заготовок — це метод розмірної обробки струмопровідних матеріалів, заснований на анодному розчиненні металу деталі в електроліті під дією постійного струму.

Схема електрохімічної обробки представлена на рис.2.5

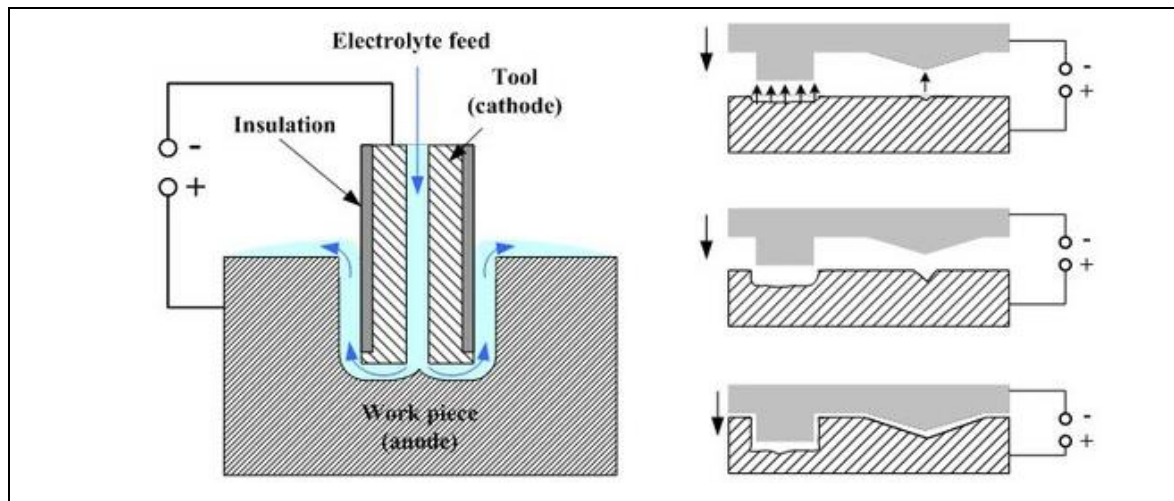


Рис.2.5 Схема електрохімічної обробки

Метод дозволяє виготовляти складні форми, полірувати, знімати задирки та маркувати деталі без механічного впливу, незалежно від твердості металу.

Швидкість розчинення може досягати $1000 \text{ мм}^3/\text{с}$, що підходить для масового виробництва[16].

Кулачки одержують литтям, обробкою різанням, обробкою тиском. Заготовками для виготовлення кулачків можуть бути прутки, одержані протяжкою, калібровані гарячекатані прутки або стержні, отримані литтям. Для виготовлення кулачків можуть використовуватись вилки. Одержують та вилки різними способами - в піщані форми з машинною формовкою, в кокіль, під тиском та відцентровим литтям. Токарна обробка, фрезерування, свердління, які широко використовуються в машинобудуванні є основоположними у виробництві та використовуються в комбінації або окремо відповідно до конкретних вимог проектування та використання деталей та вузлів.

2.2.3. Точіння кулачків на токарних станках.

Механічна обробка деталей та вузлів — це процес зміни форми, розмірів та шорсткості поверхні заготовки чи деталіза допомогою фізичної дії різної природи шляхом зняття шару матеріалу або пластичної деформації. Вона є основним етапом виробництва у машинобудуванні та ремонті пошкоджених елементів.

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

Одним із способів виготовлення кулачків є точіння на токарних станках з прутків. Процес точіння полягає у в механічній обробці матеріалів різанням, при якій заготовка здійснює обертальний рух (головний рух різання), а різець (інструмент) переміщується поступально (рух подачі) паралельно, перпендикулярно або під кутом до осі обертання заготовки.

Заготовка закріплюється в патроні токарного верстата і обертається, а інструмент знімає шар металу (пластмаси, дерева і т.д). При точінні отримуються деталі тіл обертання (циліндричні, конічні, фасонні поверхні), а також обробка торців деталей. При цьому контролюється (задається) обертальний рух заготовки (швидкість різання) та поступальний рух різця (подача)-ці параметри обробки залежать від матеріалу, охолодження. Процес точіння площин (підрізання торців) забезпечує точність 9-10-го квалітетів

Точіння є одним із найпоширеніших способів обробки металів, що дозволяє отримувати точні розміри (9–10 квалітети) при шорсткості Ra (6,3...1,25) мкмта необхідну шорсткість поверхні. Точіння може бути зовнішнім, внутрішнім (розточування), торцевим (підрізання) та відрізним.

Токарна обробка в основному використовується для створення циліндричних або конічних поверхонь, незалежно від форми вихідного матеріалу. Будь-які об'єкти, створені під час цього процесу, мають бути обертально-симетричними. Зазвичай його можна використовувати для виготовлення осесиметричних деталей, таких як циліндричні або конічні вали, ступінчасті вали, конічні предмети, збільшення внутрішнього діаметра отвору, вирізання циліндричних канавок, нарізання різьби тощо.

Процес точіння в машинобудівному виробництві здійснюється на широко поширеному багатофункціональному верстаті, який називається токарним. В основному це горизонтально-осьовий верстат (шпindelъ горизонтальний)[17].

Загальний вигляд токарного станка представлений на рис.2.1

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		28



Рис.2.1 Загальний вигляд токарного станка

Окремі види токарних операцій представлені на рис 2.2 та 2.3

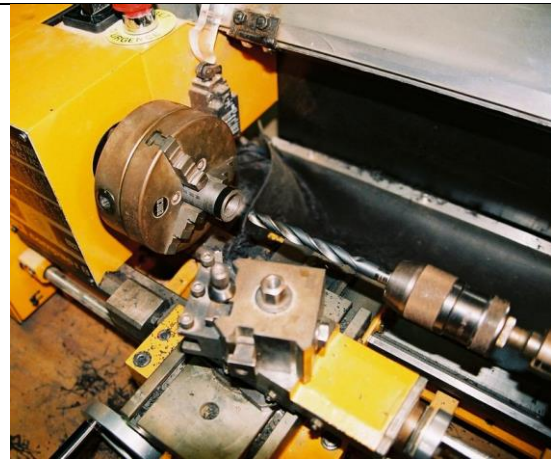


Рис. 2.2 Свердління отвору на токарному верстаті

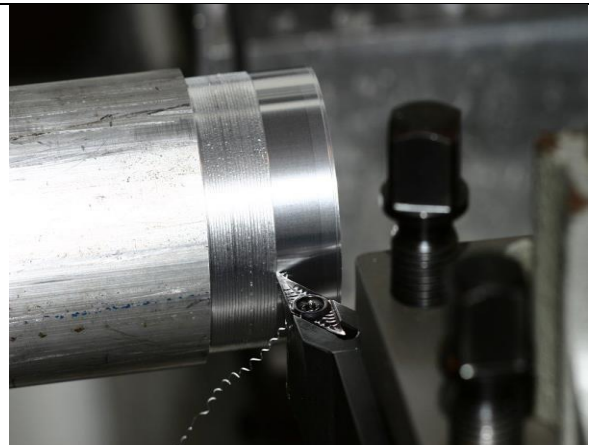


Рис.2.3 Токарна обробка зовнішньої циліндричної поверхні

Окремі види токарних операцій

2.2.4. Пресування кулачків та інших деталей в машинобудуванні

Пресування є технічно досконалим і рентабельним способом обробки кольорових металів і сплавів.

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КвРМТВА. 23116.02.15.00

Арк.

29

Пресуванням можна виготовити всі профілі, які одержують прокатуванням, за винятком листів, а також більш складні профілі, прокатування яких утруднене. Форма профілю і його розміри по всій довжині прутка відповідають отвору в матриці.

Схема штамповки в закритому попередньому та кінцевому штампах представлена на рис.2.4

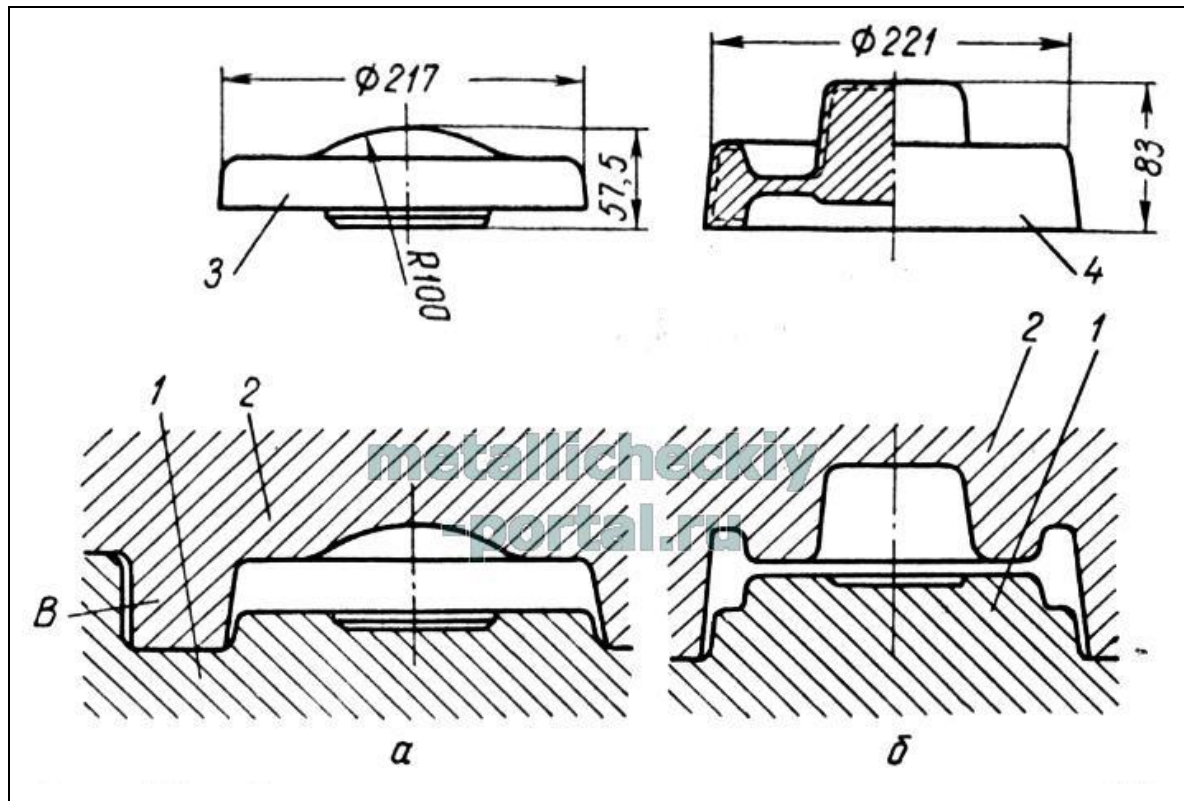


Рис.2.4 Приклад схеми штамповки в закритому попередньому (а) та кінцевому (б) штампах

1-нижні штамп, 2-верхній штамп, 3-деталь після попереднього штампування 4- деталь після кінцевого штампування

Пресування проводять прямим або зворотнім методом. При прямому пресуванні напрям течії (переміщення) металу збігається з напрямом руху пуансону(рис.2.5).Нагрітий зливкок або заготовка поміщені в циліндричний метало приймач (контейнер), що закривається матрицею, яка має отвір, що називається очком. З другого кінця в контейнер встановлено прес – шайбу, яка передає тиск пуансона. Метал під тиском пуансона заповнює порожнину

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

контейнера і потім, не маючи іншого виходу, крім отвору у матриці, витісняється з останнього у вигляді довгого прутка.

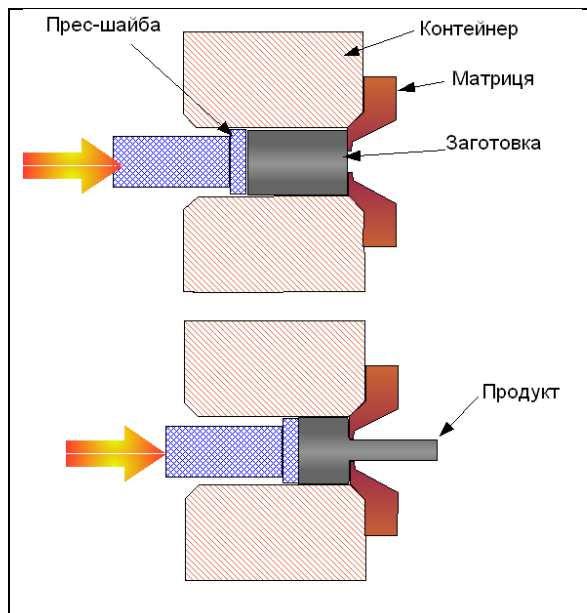


Рис. 2.8 - Схема прямого пресування

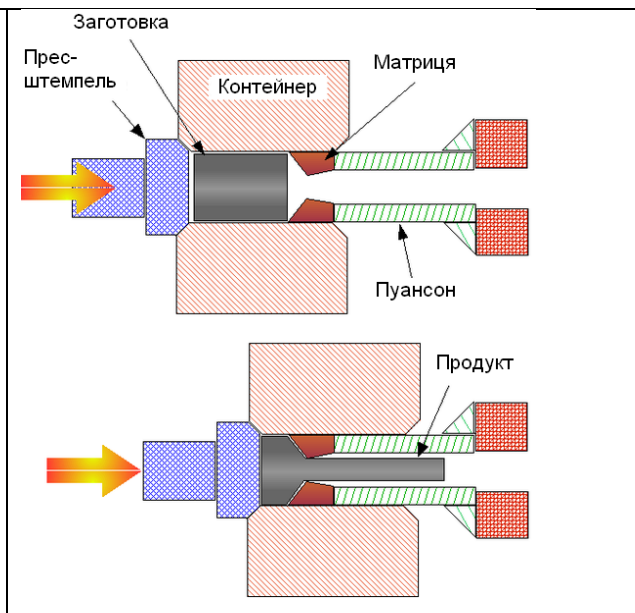


Рис. 2.6 - Зворотнє пресування

Наприкінці пресування метал зливка трохи вистигає і витіснити з контейнера його цілком не вдається. Остигла частина зливка, так званий прес – залишок, містить в собі неякісний метал (усадочну раковину зливка). Прес-залишок відокремлюється від стержня дисковою пилкою, спеціальними ножицями або прошивнями. Величина прес-залишку коливається в межах 4 -25%.

Під час прямого пресування деформація заготовки відбувається нерівномірно. Поверхневі шари зазнають більших деформацій ніж серединні. Це зумовлює формування різної структури та властивостей отриманих заготовок.

При зворотньому пресуванні(рис.2.6) усувається тertia металу об стінки контейнера і знижується в зв'язку з цим потрібна потужність преса на 25 – 35%; прес - залишок зменшується до 6 -10%. Матриця одночасно виконує роль прес-шайби. Вона прикріплюється до кінця порожнистого пуансона і насувається на зливков. Контейнер замикається упорною шайбою. Під час переміщення контейнера разом з ним рухається заготовка і метал втискається в канал матриці, утворюючи профіль.

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата
-----	------	-------------	--------	------

При зворотньому пресуванні неоднорідності структури отриманої заготовки значно менші. Позитивним є також зменшення температури нагрівання заготовки та зусиль для виконання процесу [18].

2.2.5. Фрезерування деталей в процесі машинобудування.

Фрезерування металу — це високоефективний метод механічної обробки, при якому ріжучий інструмент (фреза), знімає шар матеріалу із заготовки, надаючи їй необхідної форми, точних розмірів та шорсткості поверхні. Процес виконується на верстатах для створення плоских, фасонних поверхонь, пазів, канавок та зубчастих коліс.

Загальний вигляд фрезерного станка представлений на рис.2.7



Рис.2.7 Загальний вигляд фрезерного станка

Фрезерна обробка за методом фіксації заготовки, що обробляється, на станку, поділяються на вертикальну, горизонтальну та кутову. За напрямком обертання фрези (ріжучого елемента), фрезерування металу деталі (заготовки) буває зустрічним та попутним.

					КВРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		32

Зустрічне фрезерування передбачає рух ріжучої кромки назустріч заготовці (на зубці фрези). Це найшвидший існуючий метод обробки. Попутна фрезерна обробка полягає у русі фрези зверху вниз (під зубці фрези). Такий тип металообробки гарантує достатню чистоту зрізу поверхні.

Окремі види фрезерувальних робіт представлені на рис.2.7.

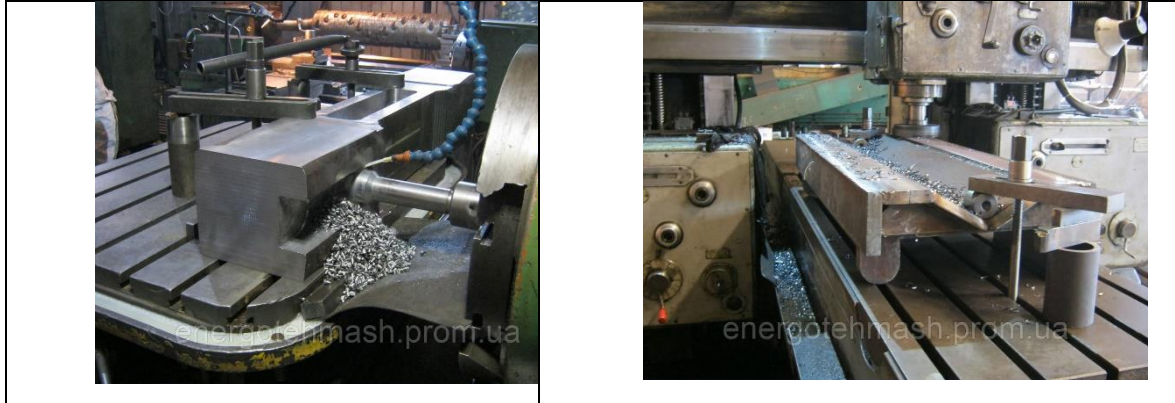


Рис. 2.7 Окремі види фрезерувальних робіт

Обидва ці методи можна поєднати між собою, що дозволить забезпечити набагато меншу кількість бракованих заготовок. Наприклад, великі заготовки варто обробляти спочатку зустрічним способом, а вже згодом застосувати попутний, який і забезпечує чистоту зрізу поверхні.

На спосіб фрезерування металу також впливає і вид металевої поверхні, що обробляється. Для поверхонь, що різняться за типом кріплення, конструкцією, формою зубців та іншими характеристиками, використовують фрези різного типу:

- кінцеві, що застосовуються при обробці великогабаритних деталей;
- торцеві, які використовуються за необхідності просвердлити закритий отвір, виконати на ній канавку;
- фасонні –що підійдуть для фрезерування металевих профілів;
- периферійні, особливістю яких є металева стружка з деталі у вигляді знака коми, що залишається після виконання фрезерних робіт [19].

2.2.6. Термічна обробка сталі та введення легувальних елементів для покращення характеристик

Термічною обробкою називають технологічний процес, який складається з нагрівання виробу до заданої температури, витримки та охолодження з

заданою швидкістю. Термічна обробка дозволяє одержати необхідні властивості сталі, змінюючи її структуру без зміни складу. Теоретичною основою технології термічної обробки є теорія фазових перетворень, що відбуваються під час нагрівання та охолодження сталі. Під час термічної обробки в сталях відбуваються такі основні перетворення: 1 – перліту в аустеніт під час нагрівання; 2 – аустеніту в ферито-цементитну суміш під час охолодження (перліт); 3 – аустеніту в мартенсит під час охолодження; 4 – розпад мартенситу на ферито-цементитну суміш під час нагрівання (під час відпуску).

Термічна обробка сталі 45 (середньовуглецева конструкційна) включає нагрівання до 830-850°C, витримку (до 15 хв) та охолодження (вода або олія) для отримання твердості до 55 HRC. Основний графік передбачає гартування (нагрів + швидке охолодження) з наступним відпуском (400-600°C) для зниження крихкості та підвищення в'язкості.

Тобто графік термічної обробки (основні режими) може бути представлений наступним рядом процесів: гартування, нагрівання, витримка до прогріву, охолодження: вода або олія (для складних деталей) відпуск (після гартування), високий відпуск (поліпшення), (мартенсит відпуску), низький відпуск (для підвищення твердості), нормалізація-Нагрів з охолодженням на повітрі (для зняття напруг після прокатки) [12].

Сталь 45 має низьку прогартуваність, тому для товстих деталей використовують переважно олію.

Покращення характеристик сталі здійснюється введенням легувальних елементів (Cr, Ni, Mn, Si, Mo, V, Ti) та модифікаторів, що підвищує міцність, твердість, корозійну стійкість, жароміцність та знижує крихкість.

Добавки

змінюють структуру, утворюючи карбіди або зміцнюючи твердий розчин, а також нейтралізують шкідливий вплив домішок (сірки, фосфору).

Введення хрому (Cr) у сталь підвищує її корозійну стійкість, жаростійкість, міцність та твердість завдяки утворенню захисної оксидної

					КВРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		34

плівки Cr_2O_3 . Хром покращує прогартовуваність, стійкість до зношування та теплову міцність. Вміст понад 12% забезпечує неіржавіючі властивості.

Хром утворює на поверхні тонку щільну плівку оксидів, яка захищає метал від окислення та руйнування в агресивних середовищах (кислоти, повітря).

Жаростійкість та окалиностійкість сталі підвищується з ростом вмісту хрому (особливо при >12-15%), що дозволяє металу працювати при високих температурах (1000...1100°C). Твердість та міцність підвищуються, оскільки хром входить до складу карбідів (Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$), які забезпечують високу зносостійкість, зокрема в інструментальних сталях.

В'язкість може дещо знижуватися при дуже високому вмісті хрому через підвищення крихкості. Хром є феритоутворювачем (звужує область аустеніту), тому хромування сприяє утворенню феритної структури, а при низькому вмісті вуглецю — мартенситної. Покращує прогартовуваність, але при перевищенні 15% хрому може зменшуватися пластичність.

Введення нікелю (Ni) у сталь значно підвищує її пластичність, ударну в'язкість (особливо при низьких температурах) та корозійну стійкість, розширюючи аустенітну область. Нікель є стабілізатором аустеніту, покращує прогартовуваність, підвищує міцність, не знижуючи пластичність, і є ключовим компонентом нержавіючих сталей, підвищуючи стійкість в активному стані.

Стійкість до корозії: нікель відомий своєю чудовою стійкістю до корозії. При додаванні до сталі в достатніх кількостях він підвищує здатність сталі протистояти корозії, особливо в агресивних середовищах, таких як вплив морської води, кислот і хімікатів. Нержавіюча сталь на основі нікелю,

наприклад, має високу корозійну стійкість і широко використовується в сферах застосування, де є проблема з корозією.

Міцність при високій температурі: нікель може покращити міцність і стабільність сталі при високій температурі. Нікелеві сплави, такі як Inconel і Hastelloy, використовуються там, де сталь повинна зберігати свою

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		35

структурну цілісність при підвищених температурах, наприклад у газових турбінах, авіаційних двигунах і промислових печах.

Міцність і пластичність: нікель може підвищити міцність і пластичність сталі, роблячи її менш схильною до руйнування та більшою здатністю протистояти ударам і механічним навантаженням. Це важливо в тих випадках, коли цілісність конструкції та стійкість до механічних пошкоджень є критичними. Аустенітне перетворення: нікель може допомогти стабілізувати аустенітну фазу в сталі. Аустенітні нержавіючі сталі, наприклад, мають гранецентровану кубічну (FCC) кристалічну структуру, яка забезпечує відмінну в'язкість, формувальність і стійкість до корозії. Додавання нікелю є ключовим фактором у досягненні цієї фази.

Нікель може впливати на магнітні властивості сталі. Деякі нікелеві сплави, такі як інвар, демонструють мінімальне теплове розширення і використовуються в точних інструментах, де стабільність розмірів є вирішальною. З іншого боку, сталі, що містять нікель, можуть бути магнітними, наприклад, широко використовувані аустенітні нержавіючі сталі серії 300.

Зміцнення: нікель може сприяти характеристикам зміцнення сталі. Це означає, що сталь з нікелем може стати міцнішою та твердішою під час холодної обробки, що є бажаною властивістю в деяких сферах застосування.

Кремній (Si) у сталі діє як розкислювач, підвищуючи межу плинності та міцність, не знижуючи при цьому пластичність суттєво. Він покращує жаростійкість, магнітні властивості та пружність, але може зменшувати

здатність до витяжки, холодної висадки та погіршувати зварюваність при високих концентраціях.

Si розчиняється у фериті, значно підвищуючи межу плинності та тимчасовий опір, особливо у поєднанні з іншими елементами. Si є потужним розкислювачем, що покращує якість сталі, видаляючи кисень. Кремній підвищує електроопір сталі, що знижує втрати на вихрові струми, тому він незамінний у електротехнічних сталях. Підвищує стійкість до окислення при

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		36

високих температурах.Збільшує межу пружності, що робить його важливим елементом для ресорно-пружинних сталей.

Високий вміст Si знижує здатність до холодної висадки, ускладнює зварювання та зменшує в'язкість сталі.

Молибден (Mo) — важливий легуючий елемент, який значно підвищує корозійну стійкість, жароміцність та прогартовуваність сталі. Він зменшує схильність до крихкості, покращує механічні властивості при високих температурах і підвищує зносостійкість, часто додаючись до нержавіючих (наприклад, 316-та) та низьколегованих сталей.

Додавання Mo значно підвищує стійкість до корозії в агресивних, особливо хлоридних та кислотних середовищах. Mo покращує здатність сталі зберігати високу міцність при високих температурах, що важливо для жароміцних сталей.

Підвищує межу міцності та текучості. У комплексі з іншими елементами, Mo сприяє утворенню тонких зносостійких покриттів. Істотно збільшує прогартовуваність, дозволяючи отримувати задані властивості у глибших шарах металу. Зменшує схильність до відпускнуї крихкості та сприяє отриманню наддрібнозернистої структури [13].

					КВРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА. ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Вибір матеріалу деталі «кулачка».

3.1.1. Аналіз вибраного матеріалу.

Сталеві кулачки завдяки своїм високим антифрикційним властивостям сприяють продовженню строку експлуатації всього механізму пристрою регулювання під напругою (РПН) силового трансформатора. З часом кулачки зношуються, але завдяки їм, інші важливі механізми пристрою регулювання працюють надійніше та довше забезпечуючи надійну подачу електроенергії споживачам як промисловості так і для побутових потреб. Сталеві кулачки з прутка гарячекатаної сталі мають такі важливі переваги - висока зносостійкість; стабільність розмірів; точність після механічної обробки, що дає змогу (при високій зносостійкості) деталі бути надійним елементом при виконанні основних функцій переключення.

Для виготовлення кулачка механізму пристрою регулювання під напругою (РПН) силового трансформатора вибираємо сталь марки 45-2ГП-М1. Сталь марки 45 застосовується при виготовленні гарячекатаного і холоднокатаного плоского і сортового прокату і кованок, які згодом використовуються при створенні металоконструкцій і виробів машинобудівного призначення різних форм і розмірів. Конструкційна сталь 45 широко застосовується у виробництві шпинделів і кулачків, шестерень, кріпильних виробів, і валів різного призначення. З такої сталі виготовляються відповідальні вироби (консолі, осі, штоки, балки, плунжери та ін.), від яких вимагається підвищена міцність після термічної обробки.

Твердість HRC₃ 32...40 для сталі 45, яка використовується в підприємстві для виготовлення кулачка досягається після покращення, яке складається з двох етапів: загартування у воді або олії (при температурі 830-850°C та високий відпуск при температурі 400-550°C, що дозволяє знизити крихкість після загартування та отримати необхідну в'язкість і твердість.

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		38

Але для покращення надійності кулачка в експлуатації в приладі перемикач під навантаженням з врахуванням необхідних властивостей пропонується провести загартування кулачка при температурі 830-850 градусів за Цельсієм.

Після нагрівання до 830-850°C тобто вище точки A_{c3} на 40-60°C та швидкого охолодження формується структура мартенситу, яка нас влаштує та забезпечує високу твердість. Оскільки сталь 45 є доевтектоїдною, у структурі може бути невелика кількість залишкового фериту, що трохи знижує максимальну твердість порівняно з високовуглецевими сталями.

Після гартування твердість кулачка може досягати 50-58 HRC (за Роквеллом). При цьому значно підвищується межа міцності (що добре в наших умовах) та межа плинності, але сталь стає дуже крихкою тому проводимо високий відпуск. Температура відпуску 600-650°C з витримкою біля 1 год та охолодженням на повітрі. Після відпуску усуваються внутрішні напруження. зменшується крихкість сталі, підвищується вязкість.

Застосування при гартуванні олив дає можливість забезпечити помірну швидкість охолодження, що дозволяє уникнути тріщин та можливого викривленню деталей. Роботу оливи при цьому уявно ділять на 3 етапи:

-плівковий при якому утворюється шар пари, що сприяє мінімальній швидкості тепловіддачі;

-пузирчасте кипіння при якому відбувається інтенсивне відведення тепла та сталь переходить у стан мартенситу;

-конвекція, при якому швидкість охолодження різко падає.

Олива має більшу в'язкість, що забезпечує потрібну та необхідну швидкість конвекції і зручність видалення оливи з деталей після гартування.

Безпека процесу гарантується достатньо високою температурою спалаху, що запобігає самозайманню парів олії при проведенні процесу, а охолоджувальна здатність дозволяє відбирати тепло в критичному діапазоні температур розпаду аустеніту 500-600°C.

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		39

Важливим фактором здатності довго та надійно працювати охолоджуючою речовиною є стійкість оливо до утворення шламу та смолистих відкладень. Для покращення окремих характеристик оливо до них додають спеціальні присадки які дозволяють збільшити швидкість охолодження або підвищити стабільність речовини. Окремо потрібно відзначити оливи з присадками, що дозволяють прискорити відведення тепла у критичному температурному інтервалі.

Важливим фактором покращення обробки деталі після гартування та відпуску може стати азотування, що часто називають фінальним етапом виробництва. Саме гартування та температурний відпуск створює спеціальну міцну основу серцевини та задає правильну структуру деталі з сталі для подальшого хімічного насичення азотом.

Азот насичує поверхню деталі з сталі дуже тонким шаром (від 0,1 до 0,6 мм) азоту. Цей шар дуже твердий і стійкий до стирання, тому азотування використовується в якості остаточної обробки інструментів і деталей машин.

Стальна деталь занурюється в середовище, що містить вільні атоми азоту, при високій температурі, (500-600°C, або найчастіше 520-560°C). Операція приводить до того, що азот осідає на поверхні деталі з часом дифундує вглиб сталі. Азотування може тривати від декількох хвилин до декількох годин але тривале азотування може тривати до декількох десятків годин. Повільне охолодження деталі після азотування є необхідним елементом, забезпечуючим необхідний ефект.

Структура сталі після азотування має 4 окремі фази, які можна представити певними характеристиками з назвою нітроферит, нітроаустеніт, та дві фази азотиду заліза. Тривале азотування приводить до наявності зони нітридів та карбїду. а під нею дифузійна зона. В той же час короткочасне азотування утворює дифузійну зону фериту. Тому для поліпшення стійкості до стирання можна обмежитись короткочасним азотуванням, який дає показник 800–1200 HV (за шкалою Віккерса). В переводі це означає високу

					КВРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		40

поверхневу твердість сталі 64–68 HRC (за шкалою Роквелла).

І наступним етапом, який трудно не використати і який забезпечує екстремальну твердість, зносостійкість, витривалість та антикорозійні властивості. Це іонне азотування сталі. Тут поверхня металу насичується атомами азоту в середовищі тліючого розряду.

Деталь-кулачок поміщають у вакуумну камеру, яка наповнюється азотом або азотно-водневою сумішшю та подають напругу, яка створює тліючий розряд (плазму). В такому процесі іони азоту бомбардують поверхню металу, проникаючи на глибину 0.05-0.6 мм і утворюють міцні бінарні сполуки металів з азотом. Важливо відмітити - в цьому процесі відсутні шкідливі хімічні відходи. До того можна захистити спецекранами зони, що не потребують зміцнення.

3.1.2. Хімічний аналіз складу деталі.

Сталь 45 належить до розділу конструкційних видів сталей. Виготовляється сталь згідно з ДСТУ 7809-2015 (хімічний склад), прутки представлені ДСТУ 4738-2007. Листовий матеріал випускається за ДСТУ 8540-2015 (гарячекатаний) та ДСТУ 8971-2019 (холоднокатаний), сортовий та калібрований прокат за ДСТУ 7809-2015 [20].

З цієї марки стали роблять різні вироби, яким необхідна підвищена міцність у своїх процесах. Виготовляється: вали, шестерні, циліндри, кулачкові деталі та багато іншого, що використовується в різних виробничих цілях. Сталь 45 виготовляється в різних видах металопрокату таких як: пруток гарячекатаний та калібрований, листовий метал, поковки, квадрати, труби.

Сталь 45 аналог представлений на Українському ринку металопродукції підприємствами із Європи, Словенії, Італії, Туреччини та КНР. Сортамент імпортової номенклатури продовжує зростати як у видах прокату, так і кількостях продукції, що поставляється на наш ринок.

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		41

Наведемо приклад хімічного складу листового металу українського виробництва та виробництва КНР. Наприклад беремо 5 основних елементів, так як і в імпортованому інше просто позначені значком (/). Хімічний склад листового металу українського виробництва та виробництва КНР представлено в табл.3.1[21].

Табл. 3.1 Хімічний склад листового металу українського виробництва та виробництва КНР

Хімічний елемент	Україна	КНР
C	0.5	0.47
Si	0.35	0.24
Mn	0.67	0.66
P	0.025	0.017
Cr	0.4	/
S	/	0.003

C – Вуглець, Si – Кремній, Mn – Марганець, S – сірка, P – Фосфор, Cr – Хром.

Як бачимо, всі елементи що у допусках відповідно до стандартів хімічного складу з цієї марки сталі. Тобто можливе використання цих матеріалів держави КНР в вітчизняних металоконструкціях.

Сталь 45, загартування та термообробка: рекомендовані температури загартування 830-850 градусів за Цельсієм, загартування можна виконувати в маслі або у воді. Іноді можуть з'являтися після термообробки плямистість, в основному на невеликій товщині виробів, що не впливає реально на якість. Марка сталі 45 – важкозварювальна. Для досягнення якісних зварних з'єднань потрібні додаткові операції: тобто підігрів до + 200-300°C при зварюванні, а також термообробка сталі 45 після зварювання, тобто її відпал для покращення характеристик металу.

3.1.3. Вибір ріжучого інструменту для виконання операцій.

					КВРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		42

Після проведення вхідного контролю металу, який поступив на підприємство проводиться його порізка на заготовки. Технологія часто залежить від наявності того чи іншого обладнання для порізки, яке і визначає точність порізки, запас на чорнову чистову обробку.

Порізка металу на заготовки на сучасних підприємствах держави може виконуватись широким спектром варіантів різання, серед яких лазерне, плазмове, газокисневе, стрічкопильне, гідроабразивне, порізка гільйотиною (рубка). Важливо уявити, що найбільш високоточне різання – це лазерна і гідроабразивна технології, що широко стали застосовуватись в 70-х роках 20 століття. Але не потрібно забувати і достатньо прості механічні методи – гільйотина рубка, стрічкопильне різання та термічний крій – газокиснева і плазмова різка.

Для порізки на сучасних підприємствах часто використовується плазмова різка, що являє собою універсальний спосіб для розкрою металу різної товщини та має високу швидкість порізки та гарну якість кромки.

Широко поширена механічна порізка. Ідеальний вибір для масивних деталей — круглих труб, швелерів, куточків чи суцільного металу. Забезпечує прямий різ високої якості без нагрівання металу.

Але найшвидшим способом є гільйотина порізка. Важливо тут відмітити такий факт, що спосіб не залишає відходів від стружки. Вимагає підвищеної уваги працівника до охорони праці.

Коли використовується для матеріалів, які чутливі до високих температур можна з певністю запропонувати гідроабразивну порізку струменем води з абразивом під високим тиском. Тут вода є тепловідводом.

Використання товстого листового металу та грубий чорновий розкрій вимагають газової порізки. Метод є достатньо економічним та широко застосовується.

Не варто забувати один з самих сучасних способів порізки заготовок з тонких листів, яким є лазер тим більше, що ним можна вирізати складні контури, що немаловажно в сучасних умовах для промислових підприємств

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		43

машинобудівного профілю.

Для одиничних робіт можна запропонувати порізку "болгаркою", хоча тут завеликий ризик отримання травм тому вимагає серйозної підготовки та інструктажу персоналу інженером з охорони праці та керівного персоналу цехів та підприємства.

Свердлувальні роботи виконуються з застосуванням свердел. Загальний вигляд свердлувальних робіт разом з іншими схемами обробки отворів представлено на рис. 3.1

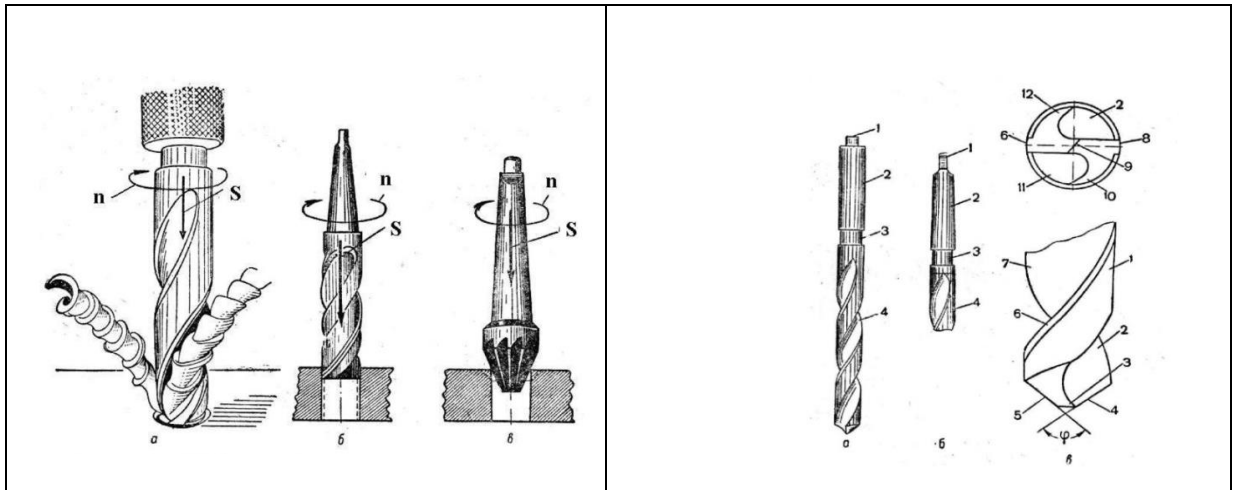


Рис. 3.1. Обробка отворів
а-свердлуванням
б-зенкеруванням
в-зенкуванням

Рис.3.2. Спіральні свердла
а-свердло з циліндричним
хвостовиком
б-свердло з конусним
хвостовиком
в-робоча частина спірального
свердла

Як правило ріжуча частина свердла а складається з ріжучих крайок, які зрізають основний матеріал, і допоміжних поверхонь, які спрямовують рух свердла-інструменту відводять зрізану стружку.

Для просвердлювання металу використовуються свердла заточеними під ширшим кутом ніж для легших до обробітку матеріалів. Повторне заточування свердла для збереження продуктивності вимагає такої ж заточки. Для виконання свердління бажано одноразовий вибір необхідної робочої довжини свердла і використання не глибше за робоче значення.

Для свердлування отворів в деталі з сталі можуть бути запропоновані свердла з легуваних сталей. Леговані сталі 11Х 11ХФ, 13Х, 9ХС

використовуються для обробки матеріалів невисокої міцності, з швидкостями 5-8 м/хв. Для виконання отворів в деталі кулачок нам необхідно мати свердла діаметром 14, 7 та 6 мм.

Пропонується використовувати свердла з сталі 9ХС, яка підчас різання може нагріватись не вище 200-250°C. Легуючі елементи, які є в цій сталі, дають можливість прогартованості та допускають при гартуванні охолоджувати в маслі та гарячому середовищі. Така обробка дозволяє зменшувати внутрішні напруження та попереджає утворення тріщин.

Процес гартування сталі рекомендується проводити при температурах 780-860°C та температурі відпуску 140-160°C. Досягнута твердість свердла з такої сталі повинна сягнути HRC 62-67, що забезпечить виконання необхідних функцій.

Недоліком сталі 9ХС, яка пропонується для виконання свердлувальних операцій є високий коефіцієнт теплового розширення та низька корозійна стійкість в агресивних середовищах. Немаловажний і факт зниження міцності при використанні за підвищених температур, тому будемо задавати для свердлування невисокі швидкості, що дозволить забезпечити якісне свердлування з витримкою заданих розмірів кулачка.

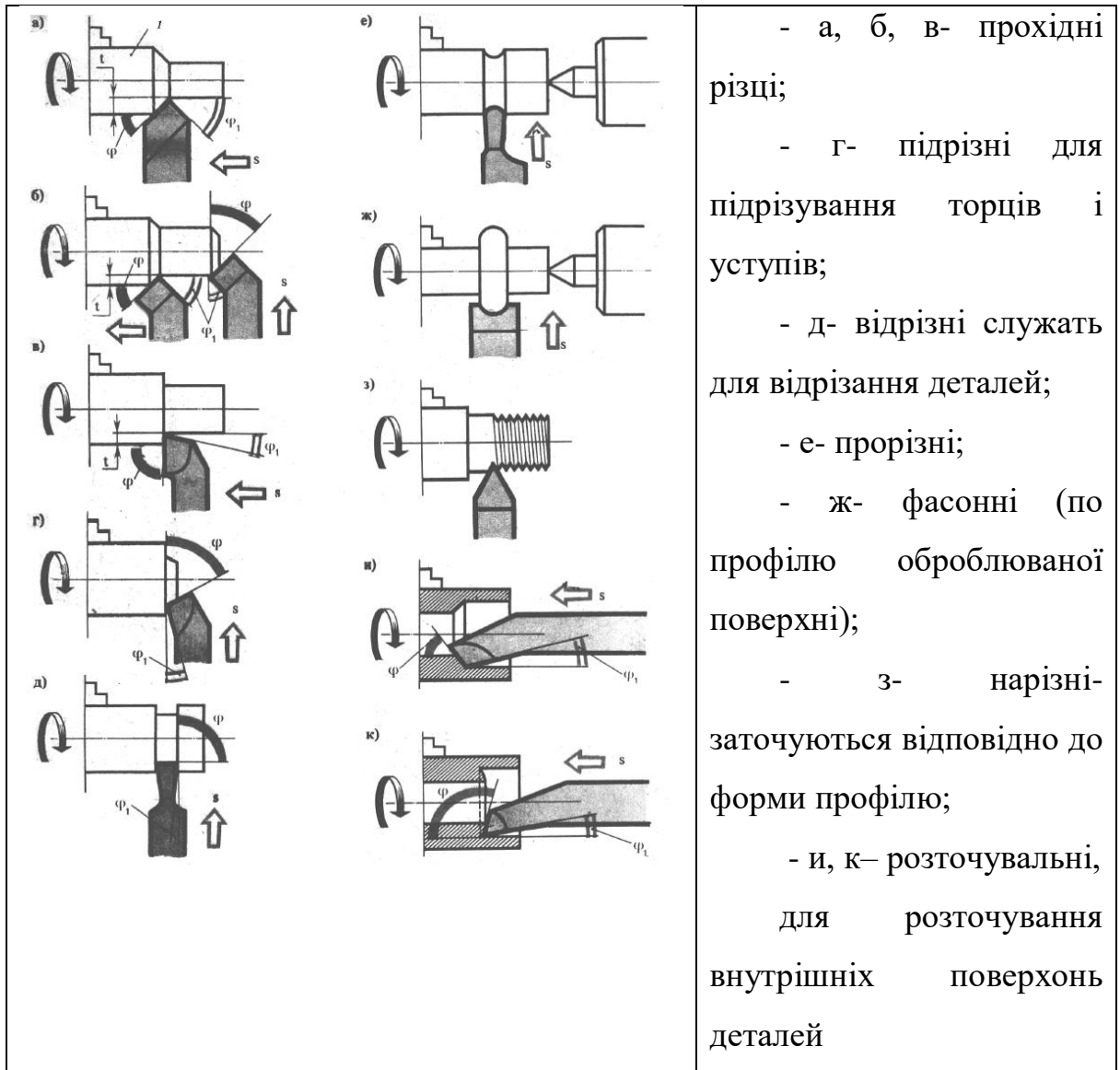
Токарні роботи при виготовленні деталей використовують цілий ряд різноманітних різців. Різці - найбільш розповсюджений вид інструмента в сучасній металообробній промисловості нашої та зарубіжних країн. Вони застосовуються при обробці металевих та інших заготовок на токарних, револьверних, верстатах і т.п.

Вдало обрана конструкція різця при виконанні токарної операції зменшує витрату енергії, підвищує продуктивність практично любого верстата верстата, збільшує довговічність самого інструмента та охорону праці при виконанні робіт. Матеріал ріжучої частини може бути виготовлений з сталі, твердих сплавів та мінералокерамічні. Складені різці являють пластину з твердого сплаву, що з'єднана основою з державкою.

Варіанти різноманітних різців при виконанні токарних операцій

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		45

представлено на рис.3.3.



- а, б, в- прохідні різці;
- г- підрізні для підрізування торців і уступів;
- д- відрізні служать для відрізання деталей;
- е- прорізні;
- ж- фасонні (по профілю оброблюваної поверхні);
- з- нарізні-заточуються відповідно до форми профілю;
- и, к- розточувальні, для розточування внутрішніх поверхонь деталей

Рис.3.3. Типи токарних різців та їх призначення

Розташування головної ріжучої кромки різця визначає назву як праві та ліві. По основному призначенню (або виду токарної обробки) розрізняють основні типи застосовуваних токарних різців: прохідні, підрізні, фасонні, відрізні, розточувальні, різьбові, канавкові а по характеру обробки різці мають назву як чистові та чорнові, які виконуть первинні види обробок.

Часто призначення різців визначають форму, матеріал з якого готуються різці на підприємствах, призначення. Все це служить для збільшення продуктивності, якості виконання токарних робіт та безпеку праці для збереження здоров'я працюючих.

Фрезеруванням називається технологічний метод обробки поверхонь

деталі чи заготовок різанням, при якому фреза виконує обертальний рух, а заготовка-деталь, що оброблюється, - поступальний рух з допомогою подачі. Фреза - ріжучий інструмент, являє собою тіло обертання, на твірній або торцевій поверхні якого, або на обох цих поверхнях розташовані ріжучі поверхні. Фрезерування – можна назвати дуже поширеним методом обробки різанням в широкій гамі галузей. Обробка площин, фасонних поверхонь, канавки, зубці в широкій палітрі зубчастих коліс, нарізання різьби все це може фрезерування. Поверхні 9...11 квалітетів і 7...8 класів шорсткості при фрезеруванні залежать від типу верстата, фрез, режимів різання. На рис. 3.4 показані приклади (схеми) обробки площин циліндричною і торцевою фрезами. Ці види фрезерування є найбільш поширеними на підприємствах.

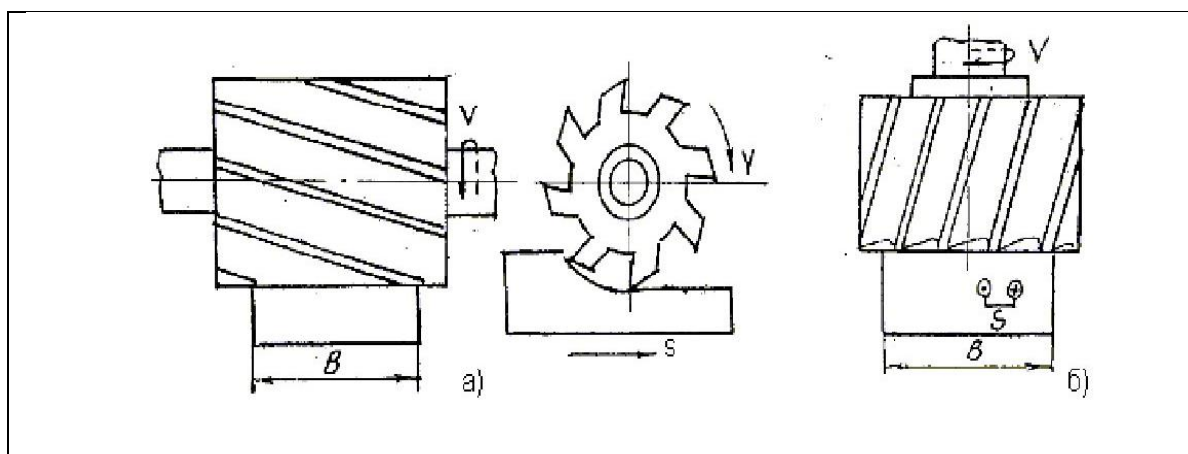


Рис.3.4. Схеми фрезерування площин фрезою (а-циліндрично, б-торцевою)

В залежності від форми і призначення фрези поділяються на циліндричні, торцеві, дискові, кінцеві, кутові, фасонні, різьбові, черв'ячні і т.п. За конструктивними ознаками фрези поділяють на суцільні (з одного матеріалу) і з вставними зубцями (ножами). В залежності від способу кріплення фрез на верстаті на виробництвах розрізняють фрези насадні, які мають спеціальний отвір та закріплюються на оправці, і фрези кінцеві з специфічним конічним або циліндричним хвостовиком.

Горизонтальні площини деталей обробляють циліндричними фрезами на горизонтально-фрезерних верстатах або торцевими фрезами на вертикально-фрезерних верстатах. Найбільш продуктивною зарекомендувала себе обробка

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

площин торцевими фрезами, що мають пластинки з спеціальних твердих сплавів.

Вертикальні площини відповідних деталей обробляють за допомогою горизонтально-фрезерних верстатів торцевими або дисковими фрезами.

Для похилих площин на підприємствах застосовують горизонтально-фрезерні верстати з кутовими фрезами на вертикально-фрезерних верстатах. Інший варіант-застосування поворотної головки для чого шпиндель верстата повертають на потрібний кут.

Виготовлення прямокутних пазів та пазів т-подібних, шпоночні канавки та фасонні поверхні обробляють фасонними фрезами відповідного профілю найчастіше на горизонтально-фрезерних верстатах.

Широкий парк фрезерних верстатів як універсальних так і широкого призначення, спеціалізованих, дозволяє промисловим підприємствам виконувати необхідні роботи по металу та іншим матеріалам необхідним для забезпечення виробничого процесу.

Основні вузли фрезерних верстатів, як правило, виготовляються під спеціальну конструкцію на вітчизняних підприємствах (фундаментна плита, станина, електродвигун з клинопасовою передачею і т. д.), а спецобладнання тепер можна закупити за кордоном у кращих світових брендів і це виводить станкобудівну галузь на новий більш високий рівень.

Фрезерування, можна рахувати найбільш продуктивним методом механічної обробки спеціальних фасонних поверхонь, канавок, пазів заготовок, деталей як одиничного так і серійного виробництва.

Сучасні підприємства України маючи багаторічний досвід у сфері обробки металів різної складності пропонують широкий вибір виконуваних робіт як для металів так і інших матеріалів.

Токарна та фрезерна обробка мають переваги, які існують в реальності та дозволяють обробляти широкий спектр матеріалів. Достатньо низька вартість операцій робить токарну та фрезерну обробку доступною широкому кругу

					КВРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		48

підприємств, організацій як в Україні так і за її межами. На рис.3.5. приведені приклади робіт, що виконуються на фрезерних верстатах.

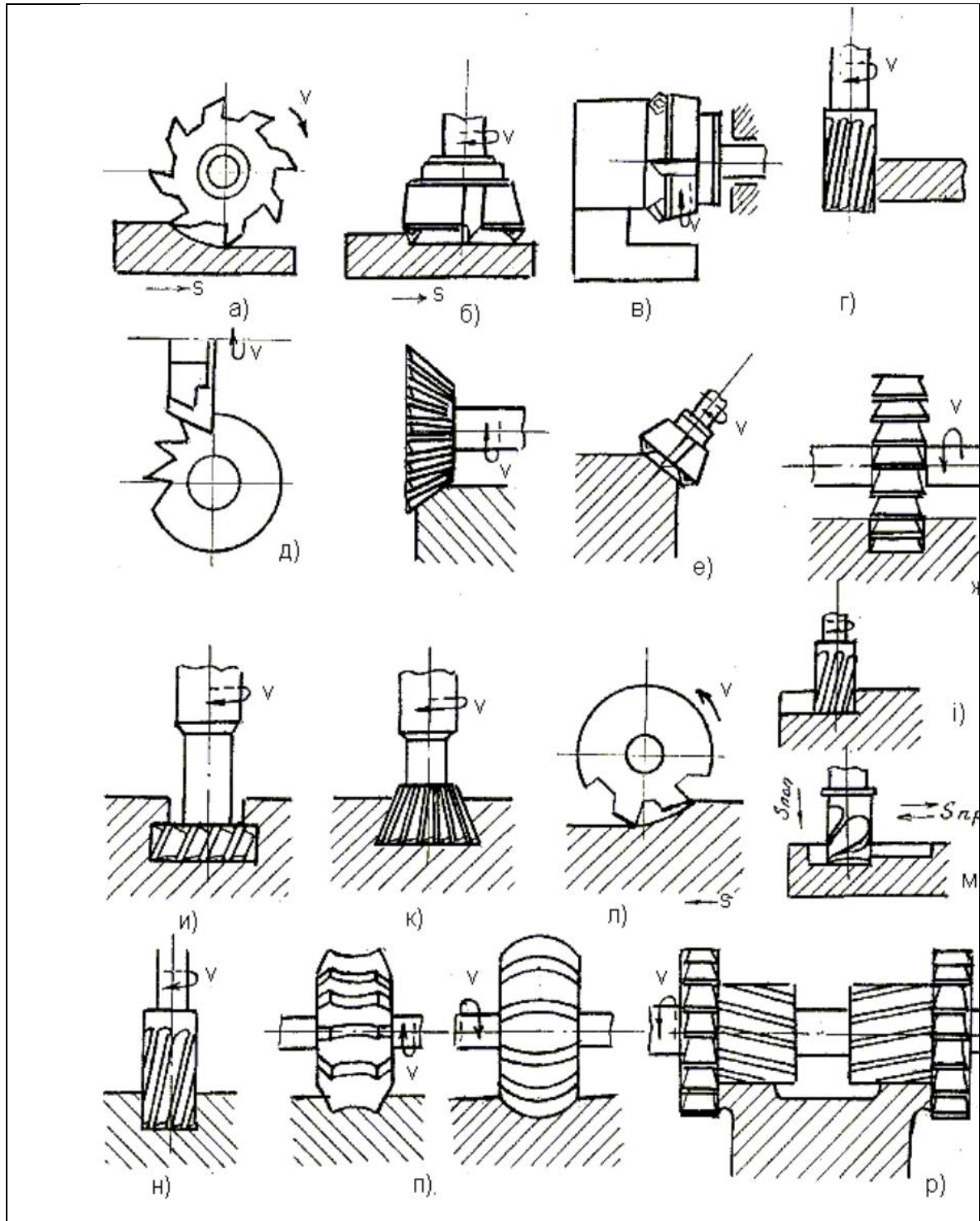


Рис.3.5. Приклади робіт, що виконуються на фрезерних верстатах

Враховуючи наявність автомобільного та залізничного сполучення виконання робіт на замовлення широко використовується молодими підприємствами, що не володіють широким набором станочного обладнання а тому використовують можливості підприємств, де парк токарного та

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата
-----	------	-------------	--------	------

фрезерного обладнання зберігся та може допомогти вирішенню проблем звичайного та військового потреб.

Лазерне різання металу, особливості технології, які широко використовуються на підприємствах можна охарактеризувати наступними штрихами. Розкрій металу-заготовки відбувається під впливом на заготівку сильного променя лазера.

Лазерний промінь створює на поверхні оброблюваної заготовки отвір, метал в зоні обробки розплавляється і випаровується, його залишки видуваються із застосуванням газової суміші. Особливо широко метод використовується для розрізання листів металу, які мають складну структуру деталі.

Готова продукція характеризується високою точністю, відсутністю необхідності додаткової обробки країв - різ виходить рівний і гладкий, без дефектів. Серед недоліків технології – неможливість розрізання товстого металу (більше 20 мм), складність у роботі з алюмінієвими і нержавіючими металами.

Плазмова різка металу тут розрізання металу проводиться під впливом газової суміші, яка подається на оброблювану поверхню під достатньо високим тиском. Для роботи плазморіза найчастіше використовують кисень.

Плазмова різка металу подібна до застосування лазерного різання – під дією газу метал розплавляється і випаровується, залишки металу видуваються. Оскільки тут є температурний впливу на метал (15-20 тис. градусів Цельсія), це створює можливості розкрою всіх типів сплавів.

Висока продуктивність плазмової різки та універсальність, високий ступінь точності, економічність являються перевагами цього методу. Недоліком можна назвати необхідність додатково обробляти краї деталей (нахил до 3-5⁰) і це створює додаткові витрати.

Газокисневе розрізання металу для розкрою металопродукції дозволяє продуктивно та безпечно кроїти метал, що характеризуються високою теплопровідністю і температурою плавлення, яка вища, ніж температура

					КВРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		50

горіння. Не підходить (необхідно відмітити) для обробки високолегованої сировини.

Але одним з найбільш затребуваних способів розрізання металу є механічна порізка на стрічкопильному верстаті. В якості ріжучого інструменту використовуються різноманітні види пил, підбір яких проводиться у відповідність з особливостями прийнятого до обробки металу. Широко застосовується для різання різних діаметрів труб і профільного прокату в необхідний розмір. Основні переваги технології – висока продуктивність та ціна конкурентна на цьому ринку послуг.

Готова продукція має високу точність і відрізняється рівними краями порізки без дефектів. Швидкість роботи верстатів при порізці допускає виконання великого обсягу роботи за достатньо коротким періодом часу. На стрічкопильному верстаті найкраще виконувати порізку заготовок за прямими під різними кутами – таке обладнання не підходить для виконання фігурного розкрою. Є обмеження і за розмірами конкретних оброблюваних деталей, що накладаються габаритами верстата.

Гідроабразивний розкрій металу включає вплив на заготовку робочої суміші з води і піску, що знаходиться під достатньо високим тиском. Суміш подається через вузьке сопло у відповідності з наміченими лініями розмітки, завдяки чому технологія дає можливість отримувати високоточну металеву продукцію, з краями без дефектів, без необхідності додаткової механічної обробки. Різати таким способом можна заготовку, товщина якого не перевищує 30 см. Не варто застосовувати гідроабразивне різання (хоча це точний метод) для розкрою металу, схильного до корозії. Високу ціну послуги можна оцінити як недолік.

Рубка гільйотиною це механічний спосіб розкрою металу, що характеризується низькими витратами на виконання роботи (вимагає підвищеної уваги до безпеки персоналу) і, відповідно, доступною вартістю. Застосування ножів по металу дозволяє отримувати необхідні рівні різи без задирок і інших неточностей. Недоліком технології можна вважати низький

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		51

рівень точності, можливість застосування методу для здійснення прямих різів, обмеження за типом і розміром металу.

Кроїти металеві заготовки можна і іншими доступними способами. Найпопулярніший з них – за допомогою «болгарки» – сучасної кутової шліфувальної машини, робочим елементом якої є ріжучий круг. Це – один з найбільш простих поширених і недорогих способів розкрою, що дозволяє працювати з металом в будь-якому місці (що широко використовується при необхідності монтажу, демонтажу громіздких металоконструкцій).

Болгаркою ріжуть чорний і горячекатаний металопрокат, круглий і профільний прокат-заготовку в різних варіантах виконання.

Найчастіше при різанні металу на спеціальних верстатах поширюється та використовується додатково числове програмне керування. Дана технологія дозволяє виконувати порізку достатньо високої точності у відповідність із конструкторськими заданими параметрами. Застосування ЧПК включає внесення креслення деталі в програмне забезпечення і автоматизацію роботи. Результат – збільшення продуктивності обладнання для порізки та істотне підвищення точності готової продукції.

					КВРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		52

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МАРШРУТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «Кулачок»

Проектування маршрутної технології виготовлення кулачка (деталі) нерозривно пов'язане із обранням технологічного обладнання, пристосувань, різального та контрольно-вимірювального обладнання. Як правило, в одиничному виробництві використовується універсальне устаткування придатне для виконання різноманітних видів робіт, в дрібносерійному – верстати з ЧПК і універсальні.

В нашому випадку перемикачі під навантаженням (а значить і кулачки) є продукцією дрібносерійного виробництва - будемо використовувати обладнання універсальне. Маршрутна технологія складається з таких послідовних кроків: вхідний контроль; підготовка матеріалу та порізка на заготовки; отримання заготовки та чорнова механічна обробка; термічна обробка; чистова механічна обробка; вихідний контроль.

4.1. Вхідний контроль матеріалу для виготовлення кулачка

У вирішенні задачі підвищення якості продукції (кулачка) важливе місце посідають методи і засоби контролю. Їх розвиток відноситься і завжди буде відноситись до найважливіших напрямків виробничого та науково-технічного процесу.

Контроль якості продукції в машинобудуванні є наймасовішою технологічною операцією у виробництві, оскільки деталі не можуть бути виготовлені без визначення їх можливих технічних характеристик. У зв'язку з ускладненням і необхідним підвищенням надійності нової техніки витрати на контроль якості в машинобудуванні складають у середньому 1...3% вартості вироблюваної продукції.

Вхідний контроль — це перевірка сировини та матеріалів, що надійшли від постачальника на замовлення підприємства, на відповідність супровідним документам та стандартам якості (державним стандартам чи відповідно до договору) до початку їх використання у виробництві (тобто виготовлення

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		53

деталей для кулачка). Його головна мета — не допустити браку на виробництві. Організація вхідного контролю на підприємстві вимагає оформлення спеціальної документації і цими питаннями, як правило займаються служби технічного контролю разом з відповідними лабораторіями (при необхідності).

Вхідний контроль матеріалу для виготовлення кулачків проводиться після прибуття партії металу на підприємство. При цьому перевіряється відповідність даним, зазначеним у супровідних документах від підприємства-постачальника. При необхідності для підтвердження якості сировини, що надійшла, може залучатися фахівець (експерт сторонньої організації) для більш детального вивчення зразків або можуть запрошувати представника постачальника.

Після проведення вхідного контролю та оцінки якості сировини матеріал поставляється на дільницю порізки, де проводиться порізка на заготовки та подачі на наступну операцію. Але для відновлення пластичності гарячекатаного прутка після підкалу (наклепу), перед холодною штамповкою чи волочінням обов'язково проводиться сфероїдизуючий відпал. Цей процес перетворює пластинчастий цементит на зернистий (сфероїдальний), знижує твердість і значно покращує оброблюваність металу різанням та тиском.

Сфероїдизуючий відпал це процес термічної обробки деталі з сталі, який полягає в нагріванні металу до температури вище критичної точки (до 20-30 градуса вище A_{c3}), тривалій витримці та подальшому повільному охолодженні. Витримують протягом нетривалого короткого періоду часу, як правило, 2-4 годин, після чого охолоджують у печі. Основна мета при цьому — перетворити пластинчастий цементит на округлі (сфероїдальні) зерна.

Найчастіше застосовується та використовується для високовуглецевих, заевтектоїдних сталей (вуглецевих інструментальних). Досягається при цьому такий ефект- знижується твердість металу, зменшується його міцність, але суттєво підвищується пластичність та в'язкість. Це робить метал деталі набагато м'якшим, значно полегшуючи його подальшу механічну обробку

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		54

(різання в даному випадку).

4.2. Вибір матеріалу для виготовлення кулачка.

Значна кількість деталей різних машин піддається різноманітним динамічним навантаженням та зносу. Умови експлуатації вимагають на практиці від деталей підвищеної зносостійкості та достатньої в'язкості, яка повинна забезпечити її використання. Підвищену в'язкість мають деталі, виготовлені з низько вуглецевих сталей. Високу твердість мають деталі, виготовлені з високо вуглецевих сталей, але тоді проглядається підвищена крихкість, а низько вуглецеві сталі не забезпечують потрібної в експлуатації твердості. Практично проблему можна вирішити використанням для виготовлення деталей низько вуглецевих сталей але з хіміко - термічною обробкою чи з середньо вуглецевих сталей із серйозним поверхневим гартуванням.

Поверхнєве гартування передбачає нагрівання і охолодження тільки поверхневого шару, серцевина при цьому не нагрівається. Такі умови нагрівання забезпечують структурні перетворення лише в поверхневому шарі, глибина якого має відповідати глибині інтенсивного зносу, а серцевина не зазнає структурних змін що дозволяє зміцнювати окремі ділянки деталі.

Розглянемо порівняльні характеристики сталей, які могли бути використані для виготовлення кулачка для пристрою перемикачів трансформатора під напругою.

Вибраний матеріал – сталь 45, за своїми технологічними та механічними властивостями задовольняє вимогам, які висувають до кулачків. Сталь 45 — це найпопулярніша серед спеціалістів машинобудівного напрямку конструкційна вуглецева сталь середньої якості та достатньо широко виробляється в Україні (наприклад, Метінвест) та інших розвинених країнах.

Вона містить близько 0,45 % вуглецю, що робить її міцною, твердою, але при цьому відносно пластичною. Це ідеальний матеріал для кулачків валів, шестерень і кріплення, що працюють під навантаженням, який добре

					КВРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		55

піддається обробці, але важко зварюється. Оскільки кулачок в подальшому не буде зварюватись то така характеристика є для нас не актуальною.

Як варіант для виробництва та необхідної заміни запропонуємо сталь 20Х-це низьколегована сталь, містить всього 0,20% вуглецю та до 1%) хрому. Після цементації та відповідної термообробки деталь отримує дуже тверду поверхню (57-63 HRC), яка стійка до зносу, при цьому серцевина деталі залишається в'язкою та міцною. Зі сталі 20Х виробляють відповідальні деталі, що працюють на високих швидкостях в умовах тертя (в наших умовах швидкості невисокі, зате є умови тертя при переключеннях), де потрібна зносостійка поверхня і міцна серцевина-кулачки.

Основними операціями, які потрібно виконати для одержання кулачка є наступні.

4.3. Вибір способу виготовлення кулачка.

Кулачки виготовляють різними способами (серед них точіння з прутка, виливка, штампування), які описані у попередніх розділах. З описаних способів, вибираємо – точіння (див. [рис.2.9](#)). Цей спосіб одержання заготовок дозволяє зберегти такі важливі характеристики сталі як міцність та твердість. Вихідною заготовкою при одержанні кулачків методом точіння вибираємо заготовку пруток, отриману з прокату сортового сталевого гарячекатаного діаметром 75 мм за ДСТУ 4738:2007 (див. [рис.2.10](#)).

Для отримання відповідних характеристик піддамо кулачки термічній обробці сталі (вуглецева якісна конструкційна) для досягнення високої твердості (М1 - гартування + низький відпуск), який передбачає нагрівання до 830--850°C, витримку та охолодження у воді або оліві. Після такої термічної обробки деталь характеризується високою міцністю (600—700 МПа), твердістю (HRC40--50), зносостійкістю.

Основне устаткування, яке використовується в термічних цехах становлять нагрівальні печі й установки, що виконують основну функцію-нагрів металу. Наряду з печами процес вимагає наявності охолоджуючого устаткування

					КВРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		56

(баки з водою або маслом, розплавлені солі), та допоміжного устаткування. До його складу відносять установки для приготування захисних необхідних атмосфер, пристрої для охолодження різноманітних гартувальних рідин, санітарно-технічне устаткування, вентилятори і повітродувки, кранове обладнання.

Нагрівальні печі в таких цехах поділяються на гартувальні, для відпуску, цементацийні, для азотування та цілий ряд інших. Робота печей забезпечується рідким або газовим паливом, електроенергією.

Температурний режим електропечі регулюється за допомогою широкого комплексу контрольно-вимірювальної апаратури. У нижній камері сучасної електропечі вироби нагріваються до 850, а у верхній ще вище — до 1300°C.

Обидві камери футеровані (процес нанесення захисного облицювання на внутрішні поверхні обладнання) вогнетривкою цеглою. Нагрівники такої нижньої камери виготовлені із сплаву X20H80, а у верхній камері встановлено селитові нагрівники.

Які ж дефекти можуть виникати при гартуванні деталей-кулачок і як виправляти таке становище. Серед таких дефектів може стати недостатня твердість загартованої деталі — наслідок заниженої температури нагрівання, або малої витримки при заданій робочій температурі та недостатньої швидкості охолодження. Виправленням дефекту може стати нормалізація кулачка або відпал деталі з наступним гартуванням. Можна також застосувати охолоджувальне середовище із більшою швидкістю охолодження кулачка.

Перегрів деталі (пов'язаний з нагріванням виробу до температури, що значно перевищує необхідну температуру нагрівання під гартування)-часто трапляється через недогляд персоналу. Такий процес супроводжується утворенням крупнозернистої структури та підвищується крихкість сталі. Виправленням дефекту може бути запропонований відпал (нормалізація) і наступне гартування з необхідною за документацією температурою.

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		57

Перепал (дуже нехороший дефект) веде до того, що сталь стає крихкою і виправити її неможливо. Цей дефект виникає при нагріванні сталі до температур, близьких до температури плавлення (1200...1300°C) в атмосфері повітря. При цьому кисень проникає в глибину сталі що приводить і до утворення оксидів на границях зерен. Така деталь відновленню не підлягає та повинна бути забракована.

Окиснення та знеуглецьовування сталі характеризуються утворенням циндри (відома як окалина або ожарина — це твердий окисний наліт), що утворюється на поверхні металевих деталей. на поверхні деталей та вигоранням вуглецю у поверхневих шарах. Така деталь також відновленню не підлягає та повинна бути забракована але окиснений чи знеуглецьований шар можна видалити шліфуванням (якщо дозволяє припуск на механічну обробку). Для уникнення браку такого виду деталь-кулачки рекомендується нагрівати в печах із захисною атмосферою.

Жолоблення й тріщини — можуть виникати в результаті внутрішніх механічних напружень. від температури і структурних перетворень (перехід аустеніту у мартенсит супроводжується зростанням об'єму до 3 %). Неодночасне перетворення об'єму деталі по перетину веде до появи значних внутрішніх напружень (внаслідок різних розмірів її перетинів та швидкостей охолодження).

Механічна обробка. Призначається для надання кулачкам заданих розмірів та чистоти поверхні. Маршрутна технологія виготовлення деталі: це послідовність технологічних операцій; вибір та опис обладнання для проведення операцій, зазначених в маршрутній технології. Маршрутна технологія складається з таких послідовних кроків.

4.4. Маршрутна технологія виготовлення кулачка

Вхідний контроль поступившого матеріалу на підприємство, порізка металу на заготовки, чорнова механічна обробка; чистова механічна обробка, свердлування отворів, нарізання різьбових гнізд, гартування виготовлених

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		58

кулачків, контроль вихідний готових деталей та відправка їх в цех збирання перемикачів (тобто на вузлову зборку) .

Першою є операція порізка прутка сталі діаметром $\varnothing 75$ мм на заготовки довжиною 32 мм.

Наступна операція є основою (базою) конструкції-свердлування отвору (місця під посадку) діаметром 14 мм та 2-х глухих отворів діаметром 5 мм глибиною 10 мм для нарізання в них у подальшому різьби М6.

Наступна операція проводиться на токарному станку та утворенням виступу 20 мм діаметром 46 мм та виступу 6 мм діаметром 24 мм.

Після цієї операції проводиться свердлування отвору діаметром 7 мм та нарізка різьби в глухих отворах М6.

Наступною операцією механічної обробки стає фрезерна обробка поверхні до заданих розмірів та вихідний контроль розмірів.

Після готовності розмірів деталі за вимогами креслення проводиться операція гартування.

Для виконання необхідних операцій порізки заготовок, точіння та фрезерних робіт підбираємо відповідне обладнання, результати якого занесено в табл.4.1.

Таблиця 4.1 - Результати вибору обладнання при обробці кулачка

№ п/п	Найменування верстату	Марка	Нормативний документ
1	Відрізна пила	BoschGCD 12 JLProfessional	Артикул: 0601B280 00
2	Станок свердлувальний	MAST Metalltechnik M-KBM 50	Код: M-KBM 50
3	Токарно-гвинторізний	MAST Metalltechnik M-TK 200	Код: M-TK 200
4	Токарно-фрезерний верстат	MASTMetalltechnikM -TF 400	Код: M-TF 400

Відрізнi пили по металу — це потужні інструменти (зазвичай 2000–2400 Вт) для точного різання профілів, труб та чорного металу, що працюють зі швидкістю близько 3900 об/хв. Вони забезпечують високу швидкість та ефективність роботи, що є необхідним у будівництві та металообробці.

Матеріали для прохідних різців по металу поділяються на робочу частину (ріжуча пластина) та державку (основа). Для ефективної обробки (чорнової або чистової) прохідних різців використовують тверді сплави, кераміку або швидкорізальні сталі.

Основними матеріалами для робочих пластин прохідних різців є тверді сплави — тверді та зносостійкі металокерамічні та металеві матеріали, здатні зберігати ці властивості при температурі 900—1150 °С.

В основному виготовляються з твердих і тугоплавких матеріалів на основі карбідів вольфраму, титану, танталу, хрому, пов'язаних кобальтовою або нікелевою металевою сполучною речовиною, при різному вмісті кобальту або нікелю.

Прохідні різці, що виготовлені з цих матеріалів, призначені для чорнової та чистової обробки, підрізання торців, обточування циліндричних поверхонь і зняття фасок [23, 24].

Виконання свердлувальних операцій та точіння потребують інструменту-перелік якого представлено в табл.4.2

Таблиця 4.2 Результати вибору інструменту при обробці кулачка

п/п	Найменування інструменту	Марка, Призначення	ДСТУ	Матеріал
	Свердло Ø14 VHM	Для свердлування отвору Ø14	ДСТУ ISO 235:2018	монолітний твердий сплав
	Свердло Ø 5 VHM	Для свердлування отвору Ø14	ДСТУ ISO 235:2018	монолітний твердий сплав
	Свердло Ø 7 VHM	Для свердлування отвору Ø14	ДСТУ ISO 235:2018	монолітний твердий сплав
	Різець	Прохідний	ДСТУ ISO 241:2015	T15K6

Для контрольно-вимірювальних операцій вибираємо штангенциркуль ШЦ-1-225-0,1 та у (СР, СРП) — це високоточний інструмент для контролю зовнішніх розмірів деталей, їх овальності та конусності методом порівняння з еталоном (кінцевими мірами). Вони мають ціну поділки 0,001–0,01 мм,

обладнані переставною п'ятою для налаштування під розмір і теплоізоляційними накладками. Результати вибору контрольно-вимірювального інструменту представлені в табл.4.3.

Таблиця 4.3 Результати вибору контрольно-вимірювального інструменту при виготовленні кулачка

Тип поверхні. Вид розміру	Тип інструмента	Точність розміру	Метод вимірювання
Лінійні зовнішні довжини	Штангенциркуль ШЦ-1-225-0,1	0,1	Прямий контактний
Зовнішні циліндричні діаметри	Скоба	0,01	Прямий контактний

Вибраний інструмент допоможе витримати задані кресленням деталі розміри та успішну експлуатацію в пристрої регулювання напруги трансформатора під навантаженням.

4.5. Охорона праці при виконанні операцій з виготовлення кулачка

Підготовка з питань безпеки працівників промисловості — це обов'язкова складова організації охорони праці, яка має бути спрямована на попередження виробничого травматизму, професійних захворювань і надзвичайних ситуацій. Така підготовка має враховувати специфіку машинобудівної галузі, де ризики можуть включати контакт стружкою, електрообладнанням, наявністю стробоскопічного ефекту при використанні люмінесцентних ламп.

Тому навчання з охорони праці є найважливішим компонентом в боротьбі з нещаснимивипадками на підприємствах України. Головним елементом навчання є вивчення законодавчихактів, що регулюють охорону праці, визначаючи порядок навчання, спеціалістів та їх обов'язки по виконанню нормативних документів.

Підприємства повинні забезпечити, щоб всі працівники до початку роботи були обізнані з правами та обов'язками у сфері охорони праці та не допускати до роботи тих, хто не засвоїв основні положення з охорони праці на своєму робочому місці. Керівний персонал повинен постійно нагадувати правил

охорони праці і дбати щоб навчання було практично орієнтованим.

Підприємства силами своїх керівних кадрів повинні оцінювати знання та навички працівників, проводячи тестування та атестації після проходження любого виду навчання. Це дозволить виявити слабкі місця в знаннях і вчасно при необхідності коригувати навчальні програми.

Охорона праці персоналу при роботі з відрізною пилою по металу є критично важливою, оскільки такий тип обладнання належить до інструментів з високим ризиком травматизму (можливі порізи, ураження відлітаючими іскрами та ураження струмом). Нижче наведено основні вимоги безпеки, засновані на типових інструкціях з охорони праці.

Оскільки робота з заготовки деталі-кулачка, механічної обробки високо травматична то допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли спеціальний медичний огляд, професійне навчання, інструктажі з охорони праці та пройшли стажування під наглядом досвідченого спеціаліста.

Працюючий обов'язково має використовувати захисні окуляри або щиток, спеціальні захисні рукавиць, спецвзуття та робочий одяг що щільно прилягає до тіла.

Перед початком роботи працівник має перевірити цілісність обладнання, наявність заземлення, справність електричного устаткування та, обов'язково, наявність захисного кожуха. Відрізний диск не повинен мати тріщин, відколів, надійно закріплений та відповідає технічним характеристикам пили.

Працівник повинен надійно закріплювати оброблювану деталь та не тримати деталь руками. Після виконання всієї попередніх процедур необхідно перевірити роботу пили на холостому ходу та впевнившись в надійності роботи перейти до виконання виробничого завдання.

Охорона праці при роботі на токарному верстаті — це комплекс організаційних та технічних заходів, а основні вимоги регулюються нормативно-правовими актами, зокрема «Правилами охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями» (НПАОП-0.00-1.71-13) [25].

Основними факторами, які можуть привести до нещасних випадків при роботі на токарному станку можна представити цілим рядом небезпек серед

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		62

яких наступні.

При точінні деталей виникає стружка, яка може відлітати на певну відстань та приводити до пошкодження очей та шкіри тому важливо пам'ятати про захист цих частин людського організму. Немаловажне значення може мати небезпека намотування одягу та волосся на патрон чи заготовку тому все це має бути закрито під одягу, косинку.

Сучасні станки працюють від системи електропостачання і необхідно пам'ятати про справність електропроводки та системи заземлення. Свою частку небезпеки вносять і задири на деталях тому працюючий повинен бути проінструктований та не допускати контакту з задирами що можуть стати причиною нещасного випадку.

Знання — це найефективніший інструмент профілактики виробничого травматизму і про це повинні пам'ятати працівники з обладнанням так інженерно-технічний персонал (майстри, начальники дільниць, відділів і т.д.). Для формування навичок безпечної праці на підприємстві застосовуються інструктажі: вступний, первинний і без проведення відповідного навчання персонал не може бути допущений до роботи.

При виконанні небезпечних та рідко виконуваних робіт фрезерувальник чи інший працівник повинен отримати цільовий інструктаж з охорони праці від майстра. Перед початком робіт фрезерувальник повинен надіти спецодяг, спецвзуття, прибрати волосся під головний убір, приготувати необхідний для виконання завдання інструмент, оглянути належне верстатне обладнання, вантажопідйомні засоби та спеціальний інструмент, визначити їх справність та готовність до використання.

Робоче місце має бути очищеним від сміття, стружки і достатньо освітленим, проходи, місця у верстатного обладнання повинні бути вільні від інструментів, деталей та витратного матеріалу. Оснащення, заготовки, готові деталі та відходи виробництва повинні знаходитися на спеціальних стелажах, пристосованій тарі. Перед пуском фрезерного верстата необхідно перевірити наявність та справність огорож, струмопровідних частин апаратури [26].

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		63

Кожний працюючий повинен перевірити справність верстата, наявність заземлення, змастити верстат відповідно до інструкції, перевірити наявність і справність пристроїв, які використовують для виконання операцій на верстаті. Важливо та необхідно ознайомитися з технічною документацією і змістом виконуваної роботи, переконатися в правильності налагодження верстата для призначеної операції.

Під час роботи верстатник зобов'язаний дотримуватись документально заданого режиму обробки, деталі, інструменти та пристрої обов'язково класти на свої місця і застосовувати їх лише за призначенням відповідно до маршрутної карти на деталь. Важливо слідкувати за правильністю подачі охолоджувальної рідини в зону обробки та не допускати холостої роботи верстата чим збільшуються витрати електроенергії.

Часто при роботі з порізки металу приходиться застосовувати болгарку. Для початку роботи (перед тим, як приступити до її експлуатації) потрібно добре вивчити правила та інструкцію до інструменту, де вказано як правильно працювати болгаркою. Працювати потрібно тільки з помічником.

Дуже хороший пристрій (його використовують на промислових підприємствах та в приватних господарствах) але вимагає дуже серйозної підготовки в частині охорони праці. В першу чергу потрібно звертати увагу на цілісність диска, яка може привести до руйнування та отримання тяжких травм. Струмопідвід (шнур) повинен мати достатню довжину але не заважати роботі і бути на такій відстані, щоб при необхідності миттєво відімкнути від мережі.

Працювати з болгаркою можна тільки в захисних окулярах оскільки потрібно вберігати очі від абразивних часточок металу, які розлітаються при виконанні операцій та можуть вразити очне яблуко.

Важливо пам'ятати що за умови обертання диска з дуже високою швидкістю (а це так і є), оператор ризикує отримати дуже важкі травми (до несумісних з життям працівника).

Звичайний одяг для такої роботи не підходить тому що при різанні

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		64

летітимуть і іскри, і різні абразивні частинки, які можуть пошкодити звичайний одяг. Краще вибирати спеціальні комбінезони з вогнетривким покриттям та рукавицями.

Потрібно готувати приміщення-прибирати займісті елементи із зони роботи щоб не було пожежонебезпечних ситуацій та мати воду біля робочого місця і вогнегасник.

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		65

Висновки

У ході виконання кваліфікаційної роботи під назвою «Розробка технологічного процесу зміцнення кулачків перемикача» було всебічно досліджено та узагальнено умови роботи деталі в перемикачі трансформатора під напругою.

Встановлено, що трансформатори грають достатньо важливу роль в забезпеченні роботи систем електропостачання для безперебійної роботи промислових підприємств, постачання електроенергії побутовим споживачам. Тому деталі, які впливають на процеси постійної функціональності системи енергозабезпечення мають діяти чітко, довгостроково та надійно. За таких умов мають бути підібрані матеріали, способи їх підготовки, обробки, які відповідають заданим функціям.

В основі принципу дії кулачкового перемикача лежить включення певної групи контактів за допомогою обертання електричного приводу апарату. Обертаючи вісь перемикача в потрібне положення, привід обертається навколо своєї осі і приводить в дію кулачок, розташований на ньому.

Вивчення умов роботи кулачка перемикача напруги дозволило нам сформувані цілісне уявлення про вимоги до ефективної роботи деталі та підґрунтя для побудови власного інженерного рішення з вибору матеріалу, підбору технології, обладнання для виконання заданих операцій та забезпечення функціонального використання кулачка в пристрою перемикачів під напругою.

На основі викладеного вибрано матеріал, який за показниками міцності та зносостійкості не поступається кращим матеріалам на основі сталі.

Вибрана сталь марки 45-2ГП-М1 не містить дорогих компонентів, а за технологічними та експлуатаційними характеристиками перевершує властивості деяких з них. Як запасний варіант для виготовлення кулачка запропоновано сталь 20Х, яка за своїми характеристиками дещо краща за сталь 45.

Але для покращення надійності кулачка в експлуатації в приладі

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		66

перемикання під навантаженням з врахуванням необхідних властивостей пропонується провести загартування кулачка при температурі 830-850 градусів за Цельсієм.

Після нагрівання до 830-850°C тобто вище точки A_{c3} на 40-60C та швидкого охолодження формується структура мартенситу, яка нас влаштує та забезпечує високу твердість. Оскільки сталь 45 є доевтектоїдною, у структурі може бути невелика кількість залишкового фериту, що трохи знижує максимальну твердість порівняно з високовуглецевими сталями.

Після гартування твердість кулачка може досягати 50-58 HRC (за Роквеллом). При цьому значно підвищується межа міцності (що добре в наших умовах) та межа плинності. Але після гартування без відпуску сталь стає дуже крихкою тому проводимо охолодження оливою для зменшення деформації та запобігання тріщинам, це дає меншу, але більш рівномірну твердість.

Вибрана за характеристиками та запропонована для застосування сталь має високу міцність, високі ливарні властивості але погано піддається зварюванню, що дозволяє виробляти з неї деталі з використанням плавлення, прокату, штампування та протяжки.

Запропонований варіант маршрутної технології виготовлення кулачка може бути використаний на виробництві, а отримані результати можуть бути використані як навчальна платформа, прототип для промислових впроваджень на підприємствах електротехнічної галузі як в м.Хмельницькому так і в межах держави Україна.

					КВРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		67

ЛІТЕРАТУРА

1. Чоста Н. В., Шолєнінов В. Є., Загудаєв В. О. Теорія механізмів і машин. Проектування плоских кулачкових механізмів : навчальний посібник до курсового проектування для студентів машинобудівних спеціальностей.– Краматорськ : ДДМА, 2017. – 65 с.
2. Кротенко Г.А., Зінченко О.І., Зарубіна А.О. Теорія механізмів і машин. Методичні вказівки до виконання розділу курсового проекту „Синтез кулачкових механізмів” для студентів галузей знань «Механічна інженерія» і «Транспорт».– Харків: НТУ «ХП», 2024. – 30 с.
3. Романюк О.Д. Теорії механізмів і машин. Конспект лекцій для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальностей: 131 «Прикладна механіка»; 133 «Галузеве машинобудування»; 274 «Автомобільний транспорт».– Кам’янське: ДДТУ, 2019. – 107с.
4. Грабко В.В., Козаченко Б.В. До питання регулювання напруги силовим трансформатором з пристроєм РПН. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. Том 363. № 2. 2026.с.670-676
5. Яндутьський О.С., Труніна Г.О., Нестерко А.Б. Регулювання напруги в розподільних електричних мережах з відновлюваними джерелами енергії. - К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021.- 191 с.
6. Литвин І.Ю. Електричні апарати. Курс лекцій для студентів напряму “Електротехніка і електротехнології” денної та заочної форм навчання.– К НУХТ, 2012. – 88с
7. Дробот О. С., Підгайчук С. Я., Боровик Л. В. Технологія конструкційних матеріалів і основи матеріалознавства в технічних системах охорони державного кордону: навчальний посібник. Хмельницький : Видавництво НАДПСУ, 2019. 264 с.
8. Пахаренко В. Л., Марчук М.М. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (металургія, ливарне виробництво): Навчальний посібник.- Рівне: НУВГП, 2009.-179с.

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		68

9. Галико А.В., Кузик О.В., Кропівний В.М., Кропівна А.В., Молокост Л.А. Матеріалознавство. Навчальний посібник: навчально-методичний комплекс для студентів денної і заочної форм навчання. – Кіровоград: КОД, 2015. – 168 с.

10. Бучинський М.Я., Горик О.В., Чернявський А.М., Яхін С.В. Основи творення машин. [За редакцією О.В. Горика, доктора технічних наук, професора, заслуженого працівника народної освіти України]. – Харків: Вид-во «НТМТ», 2017. — 448 с.

11. Верховлюк А.М., Нарівський А.В., Могилатенко В.Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: Навч. посібник. За ред. академіка НАН України В.Л. Найдека. – К.: Видавничий дім “Вініченко”, 2016. – 224 с.

12. Тимофеева Л. А., Тимофеев С. С., Федченко І. І., Комарова Г. Л., Остапчук В. М. Матеріали для виготовлення виробів транспортного призначення : навч. посіб.–Харків : УкрДУЗТ, 2017. –173 с.

13. Куцова В.З., Ковзель М.А., Носко О.А. Леговані сталі та сплави з особливими властивостями. Підручник. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2008. – 348 с.

14. Гоменюк Д. В., Романов Л. А., Шимановський М. М. Технології верстатних робіт: підручник. – Житомир, "Полісся", 2021. – 492 с

15. Лещенко С. А. Конспект лекцій з навчальної дисципліни “Гальванопластика і декоративна обробка металів” для студентів спеціальності 161 “Хімічні технології та інженерія”, освітньої програми «Технічна електрохімія та хімічні технології рідкісних розсіяних елементів». – Харків: НТУ “ХП”, 2025.– 112 с

16. Клименко В.М., Шиліна О.П., Осадчук А.Ю. Технологія конструкційних матеріалів. Частина третя. Основи механічної обробки матеріалів. Навчальний посібник. – УНІВЕРСУМВінниця, 2008.–73 с.

17. Іскович-Лотоцький Р. Д., Манжілевський О. Д. Обладнання автоматизованих виробництв. Частина 1. Верстативтомати : навчальний

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		69

посібник. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 92 с.

18. Паливода Ю. Є. Дячун А.Є. Заготовки у машинобудівному виробництві : навчально-методичний посібник.– Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2023. – 148 с

19. Залюбовський М.Г. Малишев В.В. Машини та обладнання підприємств: навч. Посібник. – К.: Університет «Україна», 2020. – 122 с.

20. ДСТУ 7809:2015. Прокат сортовий, калібрований зі спеціальним обробленням поверхні з вуглецевої якісної конструкційної сталі. Загальні технічні умови.

21. Сталь 45: характеристики, загартування, аналоги.URL: <https://listovoymetal.com.ua/stal-45-kharakterystyky-zahartuvannia-analohy/>

22. Гевко Б.М., Дичковський М.Г., Матвійчук А.В. Технологічна оснастка. Контрольні пристрої. Навчальний посібник. – К.: Кондор, 2009. – 220 с.

23. Погребна Н.Е., Куцова В.З., Котова Т.В. Способи зміцнення металів: Навчальний посібник. – Дніпро: НМетАУ, 2021. - 89 с

24. Хільчевський В. В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник. К.: Либідь, 2002. — 328с.

25. НПАОП 0.00-1.71-13 Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями.URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58767

26. Вимоги безпеки під час роботи на металообробних верстатах.URL: <https://dp.dsp.gov.ua/novyny/vymohy-bezpeky-pid-chas-roboty-na-metalooobrobnykh-verstatakh/>

ДОДАТКИ

					КвРМТВА. 23116.02.15.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		70