



**ЦЕНТР  
РЕСУРСЕФЕКТИВНОГО  
ТА ЧИСТОГО ВИРОБНИЦТВА**

# **ДОВІДНИК З РЕСУРСЕФЕКТИВНОГО ТА ЧИСТОГО ВИРОБНИЦТВА МАШИНОБУДУВАННЯ**

**Грудень, 2019**

**ДОВІДНИК З РЕСУРСОЕФЕКТИВНОГО ТА ЧИСТОГО ВИРОБНИЦТВА. МАШИНОБУДУВАННЯ / В.М. Павшук, О.А. Чайковський, Е.І. Дмитроченкова. – К.: Центр ресурсоефективного та чистого виробництва, 2019. – 116 с.**

Дана публікація підготовлена в рамках проекту «Сприяння адаптації та впровадженню ресурсоефективного та більш чистого виробництва шляхом створення і роботи Центру більш чистого виробництва в Україні», який виконується Організацією Об'єднаних Націй з промислового розвитку (ЮНІДО) та національним Центром ресурсоефективного та чистого виробництва (ЦРЕЧВ). Донорами проекту є уряди Швейцарії та Австрії.

При підготовці даної публікації не застосовувалося офіційне редагування ООН. Використані в цьому документі визначення та виклад матеріалу не виражають жодної думки Секретаріату ЮНІДО щодо правового статусу тієї чи іншої країни, території, населеного пункту або їх влади, або щодо делімітації їх кордонів, або економічної системи, або рівня розвитку.

Такі визначення, як «розвинені», «промислово розвинені» і «ті, що розвиваються», призначені для статистичних цілей та не обов'язково виражають судження про стадію розвитку, яка досягнута конкретною країною чи регіоном. Згадування назв фірм або комерційних продуктів не означає їх схвалення з боку ЮНІДО.

Вибір проектів для відображення участі ЮНІДО спрямований на демонстрацію їх розмаху та географічного й тематичного різноманіття. Цей вибір не є затвердженим ЮНІДО.



**Організація Об'єднаних Націй з промислового розвитку**

Віденський міжнародний центр –  
а/с 300 - А1400 Відень – Австрія  
Тел.: (+43-1) 26026-0  
unido@unido.org  
www.unido.org



**Центр ресурсоефективного та чистого виробництва в Україні**

04116, м. Київ, вул. Старокиївська, 10Г,  
Бізнес-центр «Вектор»  
Тел.: (+380) 44-227-83-78  
info@recpc.org  
www.recpc.org

## **ЗМІСТ**

ВСТУП .....	6
<b>1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МАШИНОБУДІВНОГО КОМПЛЕКСУ УКРАЇНИ .....</b>	<b>7</b>
1.1. Характеристика ефективності використання ресурсів у машинобудівному комплексі України.....	7
<b>2. РЕСУРСОЕФЕКТИВНЕ ТА ЧИСТЕ ВИРОБНИЦТВО .....</b>	<b>13</b>
2.1. Приклади запропонованих рішень з РЕЧВ на підприємствах машинобудівельної галузі.....	16
<b>3. СТИСНУТЕ ПОВІТРЯ .....</b>	<b>21</b>
3.1. Що призводить до підвищення енергоспоживання в системах стиснутого повітря? .....	27
3.1.1. Неефективне, нецільове використання стиснутого повітря ....	27
3.1.2. Втрати повітря.....	27
3.1.3. Падіння тиску.....	28
3.1.4. Робота компресора без навантаження .....	29
3.2. Роль кожної структурної одиниці системи стиснутого повітря у процесі підвищення її загальної енергетичної ефективності .....	29
3.2.1. Робота компресора без навантаження .....	30
3.2.2. Застосування ресиверів .....	32
3.2.3. Підготовка повітря.....	33
<b>4. МЕТОДИ ЗАХИСНОГО ТА ДЕКОРАТИВНОГО ПОКРИТТЯ МЕТАЛІВ.....</b>	<b>37</b>
4.1. Фарбування.....	37
4.1.1. Умови фарбування .....	41
4.1.2. Пневматичне розпилення за допомогою стиснутого повітря .	42

4.1.3.	Пневматичне розпилення з підігрівом лакофарбового матеріалу .....	47
4.1.4.	Безповітряне розпилення під високим тиском .....	48
4.1.5.	Фарбування зануренням .....	50
4.2.	Гальванічне покриття.....	55
4.2.1.	Основні способи скорочення витрати води на промивання (раціоналізація водоспоживання) .....	57
4.2.2.	Використання води з систем охолодження і нагрівання .....	58
4.2.3.	Інтенсифікація промивання.....	58
4.2.4.	Зміна послідовності промивних операцій .....	59
4.2.5.	Повторне використання промивної води .....	62
4.2.6.	Досвід з аналізу споживання води на виробництві та розробки пропозицій зі скорочення водоспоживання.....	64
<b>5.</b>	<b>ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ЗАГОТІВЕЛЬНИХ ВИРОБНИЦТВ.....</b>	<b>67</b>
5.1.	Методи отримання заготовок.....	67
5.2.	Литво .....	68
5.2.1.	Лиття у піщані форми.....	70
5.2.2.	Лиття в оболонкові форми .....	71
5.2.3.	Лиття у моделі, що витоплюють.....	72
5.2.4.	Лиття у кокіль.....	73
5.2.5.	Лиття під тиском.....	73
5.2.6.	Відцентрове лиття .....	74
5.2.7.	Ресурсоефективність у ливарному виробництві .....	75
5.3.	Порошкова металургія.....	77
5.4.	Теплове різання.....	83
5.5.	Обробка тиском.....	86
5.5.1.	Спосіб виготовлення заготовок куванням металів.....	87
5.5.2.	Гаряча об'ємна штамповка.....	88

5.5.3.	Штамповка на гідравлічних пресах .....	88
5.5.4.	Листова штамповка .....	89
<b>6.</b>	<b>ОПАЛЕННЯ ЦЕХІВ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ.....</b>	<b>91</b>
6.1.	Системи повітряного опалення.....	93
6.2.	Системи водяного та парового опалення .....	94
6.3.	Системи інфрачервоного опалення.....	96
6.4.	Система опалення «тепла підлога» .....	99
	<b>ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>102</b>
	<b>ДОДАТОК А – ПЕРЕЛІК ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ .....</b>	<b>103</b>

## ВСТУП

Цей матеріал підготовлений у рамках проекту Організації Об'єднаних Націй з промислового розвитку (ЮНІДО) щодо впровадження на підприємствах України методики з підвищення ефективності використання ресурсів – методики ресурсоефективного та чистого виробництва (РЕЧВ). Про низьку ефективність використання ресурсів на українських підприємствах багато разів наголошувалося на всіх інформаційних заходах та в публікаціях, присвячених цій темі. Але досі суттєвих зрушень у бік покращення ситуації немає. Центр ресурсоефективного та чистого виробництва (ЦРЕЧВ), аналізуючи ефективність використання ресурсів на підприємствах різних галузей виробництва в Україні, виконуючи технічний аудит підприємств та розробляючи пропозиції з підвищення ресурсоефективності, накопичив власний досвід із зазначених питань, а також вивчив світові практики у цій галузі.

Хоча методика більш чистого виробництва є універсальною, кожна галузь виробництва має свої особливості в питанні ресурсоефективності. У цьому керівному посібнику розглянуто практики з можливого підвищення ефективності використання ресурсів на підприємствах машинобудівних галузей виробництва.

Посібник призначений для працівників підприємств машинобудівного комплексу промисловості – технологів, інженерів, керівництва, а також для експертів і консультантів, які займаються питаннями ресурсозбереження та екологічного менеджменту, працівників проектних організацій, співробітників галузевих асоціацій, державних службовців, зацікавлених у підвищенні ефективності роботи підприємств галузі.

# 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МАШИНОБУДІВНОГО КОМПЛЕКСУ УКРАЇНИ

Машинобудування посідає перше місце серед галузей промисловості за вартістю світової промислової продукції – близько 38 %, займає провідне місце в міжнародних економічних зв'язках та є найбільш трудомістким. Машинобудування має найскладніший галузевий склад – понад 300 різних галузей виробництва, який постійно змінюється. Традиційно машинобудування поділяють на такі групи: важке машинобудування, загальне машинобудування, середнє машинобудування, точне машинобудування, виробництво металевих виробів і заготовок, ремонт машин і устаткування. У кожен з цих груп також входять відповідні галузі, яких у кожній нараховується біля 30. Крім того, у машинобудуванні розрізняють чотири основних типи виробництва: масове, серійне, одиничне та доморобне.

У довіднику представлено наш досвід роботи з підприємствами машинобудівного комплексу та світові новітні підходи стосовно підприємств серійного та одиничного типу загального машинобудування.

## 1.1. Характеристика ефективності використання ресурсів у машинобудівному комплексі України

В Україні розвинуто широкопрофільне машинобудування, підприємства якого формують складний, взаємопов'язаний машинобудівний комплекс.

Дослідити тенденції розвитку машинобудування України можливо шляхом аналізу ключових показників діяльності промислових підприємств. Загальну картину розвитку промисловості та даного окремого її сектора дає змогу сформулювати індекс промислової продукції, який є середньозваженою величиною, що розраховується за даними про розподіл валової доданої вартості різних видів діяльності та окремих індексів кожного товару в галузі. Динаміка зміни даного показника за 2013-2018 рр. наведена на рис. 1.1. Для побудови залежності були прийняті дані, які наведені на офіційному сайті Державної служби статистики України.

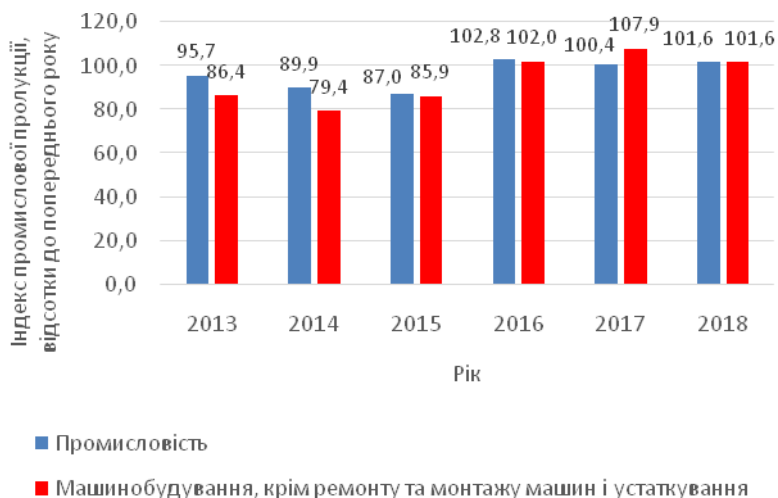


Рисунок 1.1 - Індекси промислової продукції машинобудування і промисловості України в цілому

Отримані результати свідчать про те, що виробництво продукції в машинобудівному комплексі практично співпадає зі змінами, які відбуваються в промисловості загалом. Хоча для підйому економіки України машинобудування повинне розвиватися випереджаючими темпами.

На рис. 1.2 наведено обсяг реалізованої промислової продукції машинобудівного комплексу в порівнянні з промисловістю держави загалом за період з 2013 по 2018 роки.

Частка машинобудування в структурі промисловості України становить менше 7% (рис. 1.3).

За період аналізу частка машинобудування в структурі промисловості має приблизно постійне значення. При чому мінімальне значення було досягнуто в 2016 році (6,1%), а максимальне – в 2013 (8,6%). Починаючи з 2016 року, відбувається поступове зростання показника і у 2018 році він досяг 6,9%.

Такі значення в 4-7 разів менші, ніж у країнах-лідерах галузі машинобудування. Так, у Німеччині, Японії, Англії, Італії, Китаї частка машинобудування складає 30–50% від загального обсягу промислового виробництва.



Рисунок 1.2 - Обсяг реалізованої промислової продукції сектору машинобудування і промисловості України в цілому

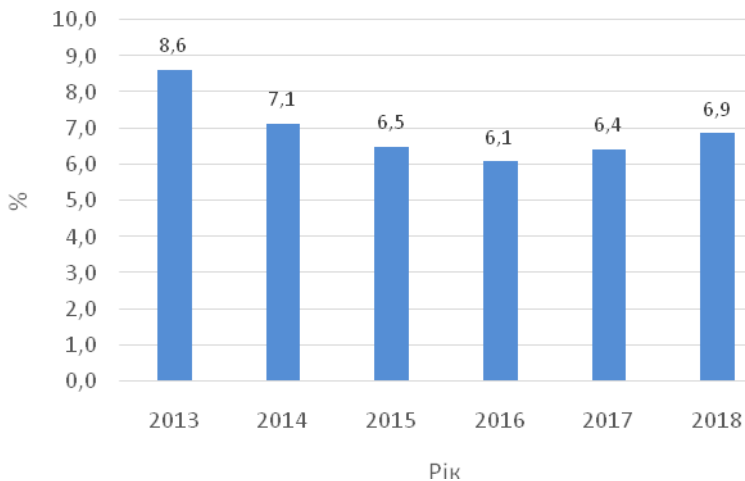


Рисунок 1.3 - Частка продукції машинобудівного комплексу в промисловості України за 2013-2018 рр. у грошовому вимірі

Нарощування обсягів промислового виробництва потребує підвищення конкурентоздатності підприємств. Одним із важливих показників конкурентоспроможності підприємства є ефективність використання у виробничих процесах матеріальних, енергетичних ресурсів та води. Для порівняння різних підприємств однакової виробничої діяльності за ефективністю використання ресурсів використовуються питомі показники витрат ресурсів на одиницю продукції. Але для машинобудівного комплексу такий показник для співставлення дуже важко підрахувати, а інколи практично неможливо. Продукція машинобудівного комплексу достатньо складна. Тому для порівняння, а також внутрішньої самооцінки, можна використовувати питомий показник у вигляді обсягів споживання ресурсів на одиницю вартості продукції, приведеної до одного базового року. Для деяких видів продукції можна користуватися питомим показником споживання ресурсів на одиницю її головної споживчої властивості. Так, для виробництва тракторів можливо використовувати показник споживання ресурсів на 1 к.с. або для виробництва електродвигунів – на 1 кВт потужності.

На жаль, статистичних даних про споживання матеріальних ресурсів машинобудівним комплексом України немає. Але є дані з використання енергетичних ресурсів машинобудівними підприємствами, які наведені на рис. 1.4-1.7.

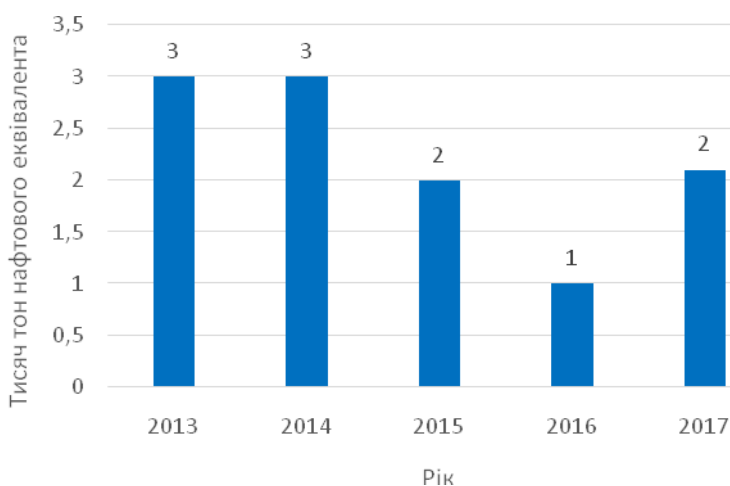


Рисунок 1.4 - Споживання вугілля та торфу машинобудівним комплексом за період 2013-2017 рр.

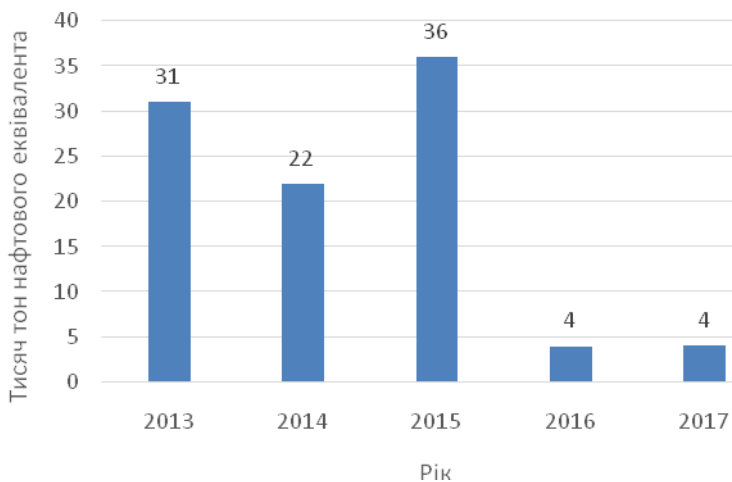


Рисунок 1.5 - Споживання нафтопродуктів машинобудівним комплексом за період 2013-2017 рр.

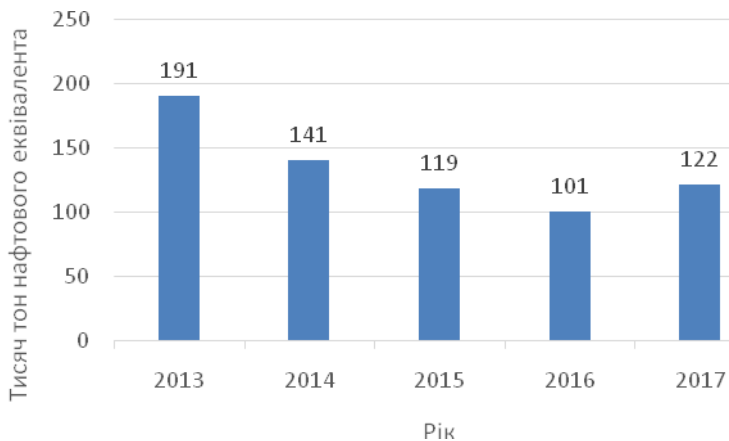


Рисунок 1.6 - Споживання природного газу машинобудівним комплексом з а період 2013-2017 рр.

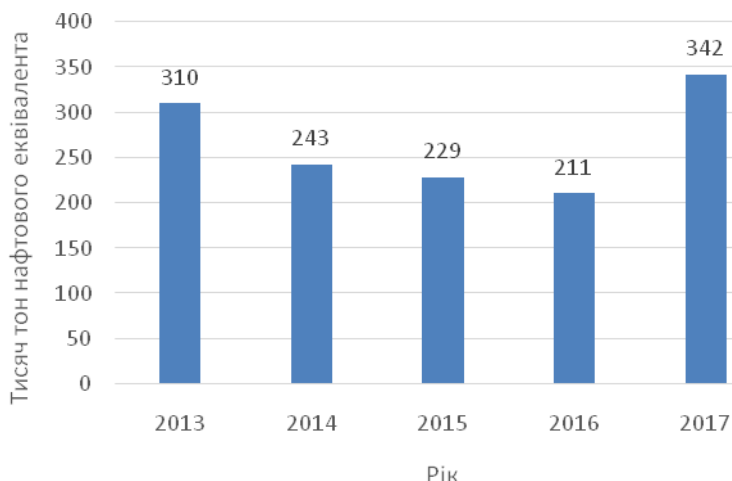


Рисунок 1.7 - Споживання електроенергії машинобудівним комплексом за період 2013 – 2017 рр.

З наведених даних можна зробити наступні висновки. Машинобудівна галузь в Україні відзначається низькою енергоефективністю в порівнянні з розвинутими країнами світу, змін у напрямку підвищення енергоефективності, за взяті до розгляду останні п'ять років, практично не відбулося.

Стосовно витрат матеріальних ресурсів. З достатньо високим ступенем точності можна вважати, що рівень споживання матеріальних ресурсів пропорційний рівню споживання енергетичних ресурсів виробництв машинобудівного комплексу. В Україні питоме споживання матеріальних ресурсів, порівнюючи з аналогічними виробництвами розвинутих країн, також значно вище. Крім того, матеріальні ресурси несуть основну частку вартості загальних витрат ресурсів машинобудівних виробництв. Таким чином, можна зробити висновок, що ефективність використання матеріальних ресурсів на підприємствах машинобудівного комплексу в Україні також залишається на низькому рівні, якщо порівнювати з розвинутими країнами світу. Тому підвищення ресурсоефективності має стати одним із пріоритетів на шляху до

покращення конкурентоспроможності підприємств. На даний час спостерігаються дуже незначні зрушення в цьому напрямку.

Одним із дієвих інструментів для постійної та системної роботи на підприємствах у напрямку підвищення ефективності використання ресурсів є впровадження Методики ресурсоефективного та більш чистого виробництва.

## 2. РЕСУРСОЕФЕКТИВНЕ ТА ЧИСТЕ ВИРОБНИЦТВО

Ресурсоефективне та чисте виробництво (РЕЧВ) – це методологія підвищення ефективності виробничих процесів за рахунок застосування превентивних (попереджувальних) заходів щодо зменшення технічно не обґрунтованих втрат. Такі заходи не чинять негативного впливу на якість кінцевих продуктів і є економічно вигідними. Вони можуть варіюватися від простих недорогих рішень до великих інвестиційних проектів.

*Ресурсоефективне та чисте виробництво – це комплексна, послідовна, превентивна екологічна стратегія для застосування у виробничих процесах з метою підвищення економічної ефективності виробництва, зниження виробничих ризиків для людей та зменшення навантаження на навколишнє середовище.  
[за методологією ЮНІДО та ЮНЕП]*

Відповіді на три простих запитання можуть допомогти вибрати варіанти удосконалення виробничих процесів.

### **Де відбувається неефективне використання ресурсів?**

Приклад: втрата сировини при завантаженні та розвантаженні.

### **У результаті чого відбувається неефективне використання ресурсу?**

Приклад: через відсутність відповідного виробничого регламенту для процесу завантаження/розвантаження.

### **Як можна оптимізувати неефективне використання ресурсу?**

Приклад: розробити відповідні правила та навчити персонал.

Методологічна схема (рис 2.1) допоможе виявити причини проблем. Її також можна використовувати під час «мозкового штурму» для пошуку вирішення проблеми. Ця схема допомагає розділити ідеї за різними категоріями.

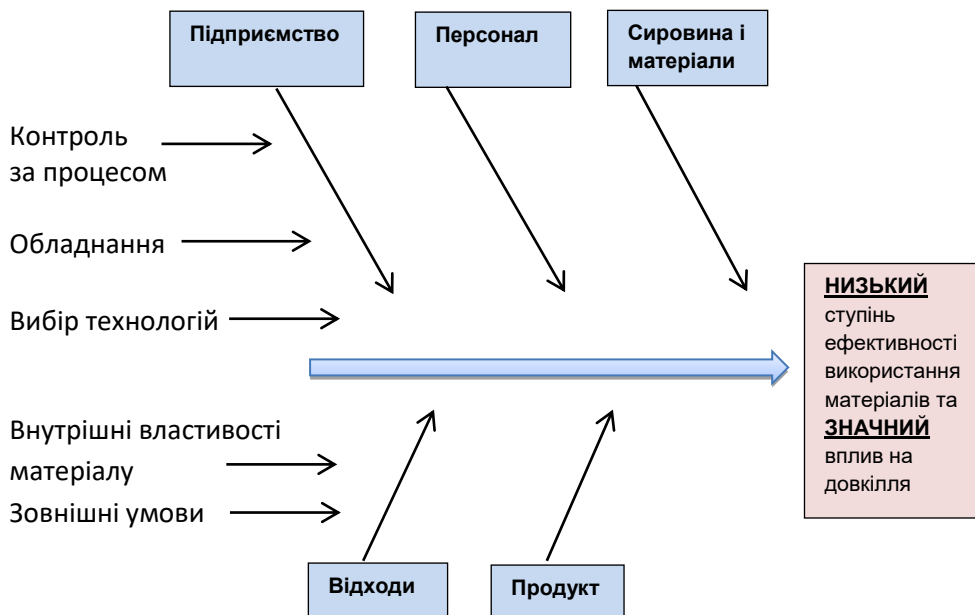


Рисунок 2.1 - Схема виявлення причин і наслідків виробничої проблеми

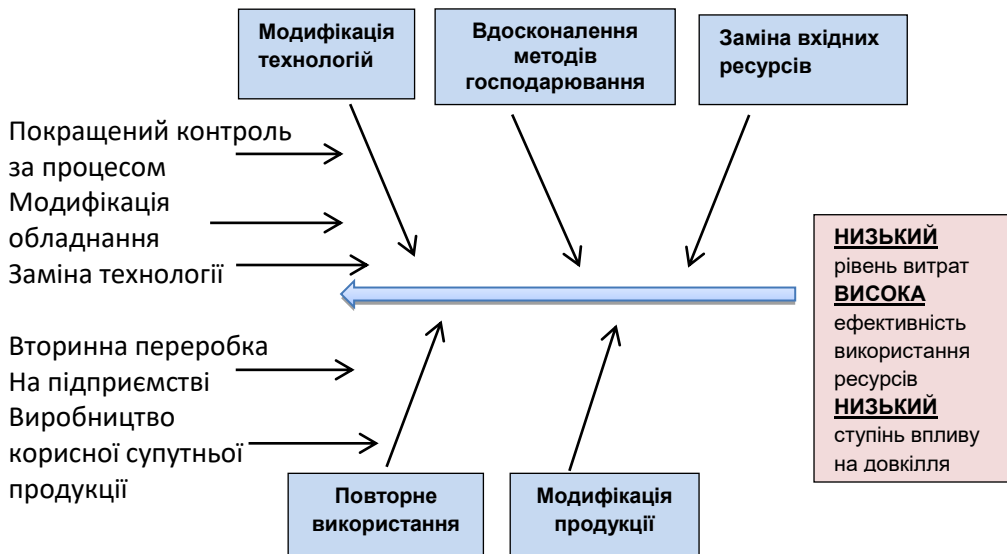


Рисунок 2.2 - Схема пошуку варіантів рішень виявлених виробничих проблем

Варіанти рішень розподіляються за категоріями, наведеними у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Категорії рішень з ресурсоефективності

Категорія	Приклад
1	2
Належне господарювання	Кришку індукційної печі для плавлення металу без потреби не тримати відкритою
Удосконалення управління процесом	Для недопущення перегріву металу використовувати інструментальні вимірювальні (контрольні) пристрої

Продовження табл. 2.1

1	2
Заміна вхідних ресурсів	Заміна карбонату на більш кошковий та якісніший матеріал для зменшення браку виробів
Модифікація технологій	Заміна газового нагрівання заготовок індукційним
Модифікація продукту	Зміна конструкції металевго стакану у виробі для суттєвого скорочення втрат металу

Центр РЕЧВ може надати детальну інформацію, а також навчити на практиці підходам щодо методики та способів виявлення технічно і технологічно не обґрунтованих втрат ресурсів, їх вимірювання та обрахунків, в тому числі проведення аналізу причин втрат та розроблення заходів щодо скорочення цих втрат, надання прикладів успішних практик. Адресу Центру РЕЧВ наведено на початку Довідника.

### 2.1. Приклади запропонованих рішень з РЕЧВ на підприємствах машинобудівельної галузі

У таблиці 2.2 наведено безвитратні та низьковитратні заходи, які були запропоновані експертами Центру РЕЧВ на машинобудівних підприємствах України.

Таблиця 2.2 - Безвитратні та низьковитратні заходи, які спрямовані на скорочення енергоспоживання на підприємствах машинобудівної галузі

Технічний результат				Економічний ефект	
Пропозиції для підвищення ЕЕ	Споживання ресурсу (базовий показник)	Споживання після підвищення ефективності	Потенційна економія,	Інвестиція, грн (ЦАН)	Проста окупність, років
1	2	3	4	5	6
Перенесення компресора	35000 кВт·год/рік	29190 кВт·год/рік	5810кВт·год /рік	5000	0,3
Зниження тиску	35000 кВт·год/рік	29750кВт·год /рік	5250 кВт·год/рік	-	-
Недопущення використання для переплавляння іржавого залізного брухту і неочищеного власного повернення літників і браку	603700 кВт·год/рік	601800 кВт·год/рік	1900 кВт·год/рік	-	-

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6
Забезпечення щільності завантаження шихти. Громіздкий матеріал (наприклад, із власного повернення) потрібно ламати (подрібнювати)	603700 кВт·год/рік	601400 кВт·год/рік	2300 кВт·год/рік	-	-
Додавання карбюризатора разом із шихтою, що завантажується, однак при дотриманні раціонального порядку завантаження шихти; якщо його додавати до рідкого металу пізніше, то це потребуватиме більших витрат енергії	603700 кВт·год/рік	601400 кВт·год/рік	2300 кВт·год/рік	-	-
Утримування кришки печі закритою, якщо можливо	603700 кВт·год/рік	602400 кВт·год/рік	1300 кВт·год/рік	-	-

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6
Використання тільки добре ізольованих, сухих і підігрітих ковшів	603700кВт·г од/рік	593000 кВт·год/рік	10700 кВт·год/рік	5000	0,2
Використання для визначення температури плавки інструментальних методів і недопущення перегріву металу	603700кВт·г од/рік	580900 кВт·год/рік	22800 кВт·год/рік	25000	0,5
Налагодження та підтримка роботи волочильного станка для виготовлення порошкового дроту згідно технічних вимог (регламентів) для зменшення втрат матеріалів	355,32 т металевої стрічки	347,42 т металевої стрічки	7,9 т металевої стрічки	25000	0,2
Реконструкція футеровки печі з облаштуванням зовнішнього шару із сипучого високоефективного ізоляційного матеріалу	26000	11101	14899	685	0,03

У таблиці 2.3 наведено перелік пропозицій з інвестиціями, які мають прийнятний термін окупності.

Таблиця 2.3 - Перелік пропозицій, спрямованих на скорочення енергоспоживання на підприємствах машинобудівної галузі з інвестиціями, які мають прийнятний термін окупності

Технічний результат				Економічний ефект	
Пропозиції для підвищення ЕЕ	Споживання ресурсу (базовий показник)	Споживання після підвищення ефективності	Потенційна економія,	Інвестиція, грн (ІАН)	Проста окупність, років
1	2	3	4	5	6
Впровадження установки індукційного нагріву (будуть виведені з експлуатації «щільові» газові печі)	54054 м <sup>3</sup> газу	28943м <sup>3</sup> газу	54054 м <sup>3</sup> газу	285600	< 1
Впровадження технології зварювання тертям замість обробки різанням	612 т металу	294 т металу	318 т металу	7620000	1,2
Встановлення у камері полімеризації інфрачервоних обігрівачів замість нагрівання повітря ТЕНами	296000 кВт-год	136000 кВт-год	160000 кВт-год	57600	0,2

Зазначені приклади показують, що навіть за умов обмежених фінансових ресурсів на підприємствах завжди є потенціал для підвищення ефективності використання ресурсів та зменшення власних технічно та технологічно не обґрунтованих витрат.

Досвід роботи з підприємствами показав, що значна частка (іноді понад 50 %) саме енергетичних ресурсів, перевитрачається у підрозділах, які не є головними технологічними ланцюгами виготовлення продукції на підприємстві. Провідні технологічні процеси зазвичай мають технологічні карти з нормами щодо використання ресурсів і тому мають кращу ресурсоефективність, порівнюючи з іншими. Розглянемо приклади роботи технологічних підрозділів, які є типовими для більшості підприємств машинобудівного комплексу з точки зору ресурсоефективності.

### 3. СТИСНУТЕ ПОВІТРЯ

Традиційно стиснуте повітря використовується на всіх машинобудівних підприємствах. Відомо, що це найдорожчий ресурс з усіх тих, які споживаються підприємствами відповідної галузі. Ефективність використання електроенергії тільки на виробництво стиснутого повітря не перевищує 15 %. Попри високу вартість стиснуте повітря дуже широко використовується на машинобудівних підприємствах завдяки наступним перевагам:

- використовується у багатьох механізмах технологічних установок;
- зручний та електробезпечний ручний інструмент;
- працююче обладнання не має іскріння.

Потенціальна енергія передається повітрю в процесі його стискання і потім використовується у пневматичних приводах для здійснення механічної роботи. Підбір оптимальної схеми розподілення, раціональних режимів виробництва і споживання стиснутого повітря дає економію електроенергії, що позитивно впливає на енергетичний баланс всього підприємства та скорочує витрати на придбання енергоносіїв.

На рис. 3.1. наведено схему типової системи виробництва та транспортування стиснутого повітря.

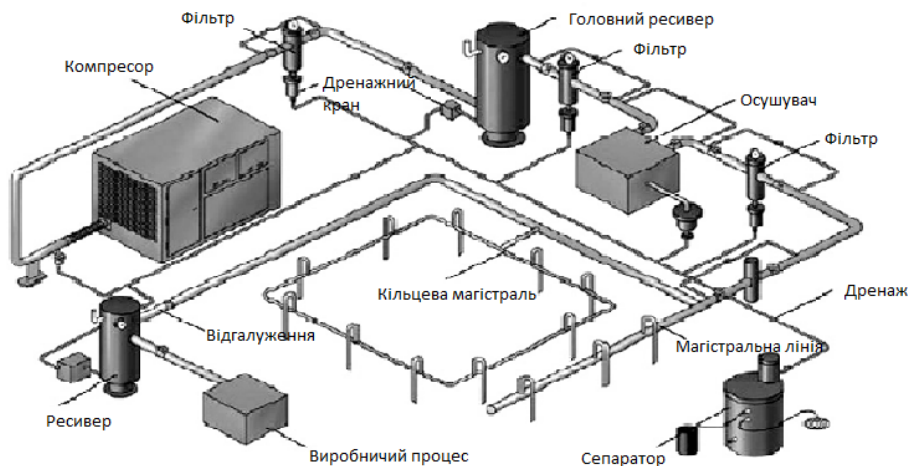


Рисунок 3.1 - Схема типової системи виробництва та транспортування стиснутого повітря

Основними елементами, які забезпечують роботу системи стиснутого повітря є:

- компресор;
- фільтри;
- осушувач;
- ресивери;
- сепаратори;
- дренажна система;
- трубопровідна система.

Кожен елемент системи повинен забезпечувати постачання стиснутого повітря до місця його споживання з необхідними характеристиками і без коливань тиску. Неефективна робота будь-якого елемента призводить до зниження експлуатаційних параметрів системи і підвищення експлуатаційних витрат. Кожен елемент системи взаємопов'язаний з іншими елементами і не повинен розглядатися ізольовано.

На типовому підприємстві машинобудівельної галузі на частку стиснутого повітря припадає до 12 % сукупних витрат електроенергії. У зв'язку з цим

енергозбереження при використанні стиснутого повітря може здійснюватися шляхом:

- скорочення прямих витрат електроенергії на роботу пневмообладнання;
- скорочення споживання стиснутого повітря і, відповідно, витрат електроенергії на його виробництво;
- підвищення ефективності використання енергії, що витрачається на виробництво стиснутого повітря, в тому числі обмеження рівня тиску в пневмосистемі і зниження втрат тиску.

Ключем до оцінки величини невикористаних резервів і ефективності рекомендованих заходів з енергозбереження є визначення вартості одного кубічного метру стиснутого повітря на підприємстві. Для цього суму річних витрат, пов'язаних з виробництвом стиснутого повітря, ділять на обсяг стиснутого повітря, виробленого за рік. Загальну суму витрат становлять:

- вартість електроенергії, спожитої за рік (компресором, охолоджувачем, осушувачем та іншим обладнанням, що є складовими системи виробництва стиснутого повітря);
- сума витрат на технічне обслуговування обладнання за рік;
- сума поточних експлуатаційних витрат (утримання приміщення, трубопроводів тощо);
- річна сума амортизаційних відрахувань (нормативний термін корисного використання компресорів становить 5-7 років).

На рис. 3.2. наведена типова структура річних витрат на виробництво стиснутого повітря.

Найбільшу долю витрат становлять витрати, пов'язані з електричною енергією, яка споживається компресором. Ця сума визначається двома основними факторами:

- енергією, яка витрачається на стискання  $1 \text{ м}^3$  повітря і залежить від тиску нагнітання;
- вартості 1 кВт години електричної енергії.

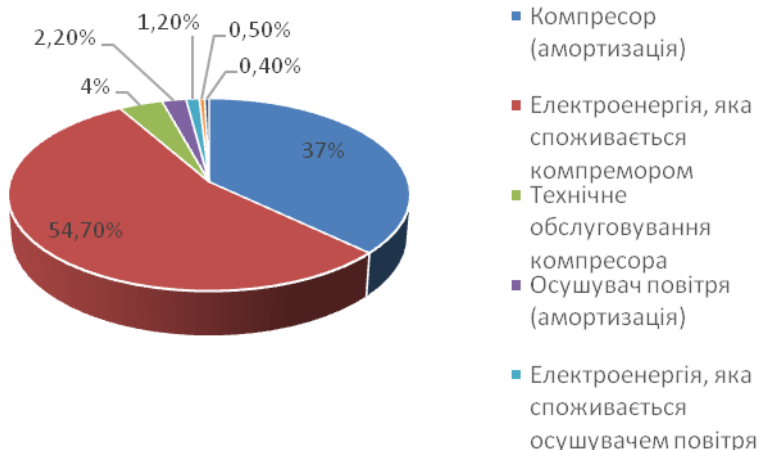


Рисунок 3.2 - Структура річних витрат на виробництво та транспортування стиснутого повітря

Залежність між тиском та витратами енергії на стискання 1 м<sup>3</sup> повітря наведено на рис. 3.3.

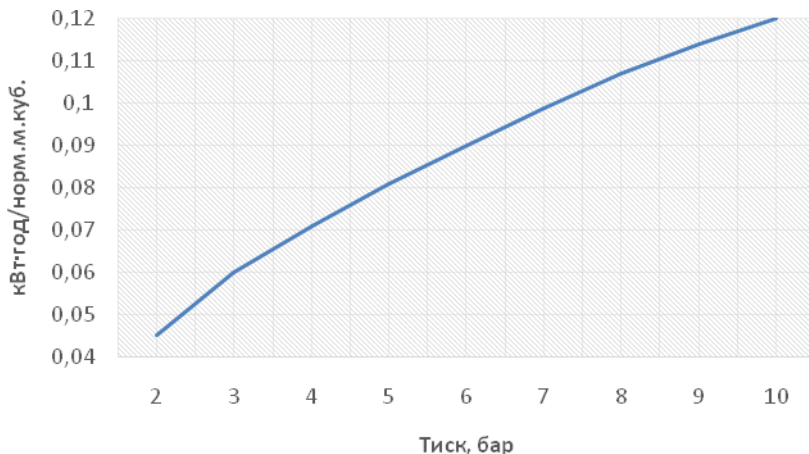


Рисунок 3.3 - Витрати електроенергії на виробництво 1 м<sup>3</sup> стиснутого повітря

Наведений графік демонструє майже пряму пропорційну залежність між тиском, який створюється компресором, та питомими витратами енергії.

На рис. 3.4 продемонстровано, що за 10 років експлуатації компресора вартість енергії, необхідної для роботи системи, істотно перевищує початкові капіталовкладення. На цьому ж рисунку видно, що на техобслуговування припадає 7 % сукупних витрат, але воно необхідне для досягнення максимальної ефективності роботи будь-якого компресора.

Постійне збільшення цін на енергоносії змушує підприємства розробляти заходи, спрямовані на зниження енергоспоживання у системах виробництва і транспортування стиснутого повітря. Всі заходи можна поділити на організаційні та технічні.

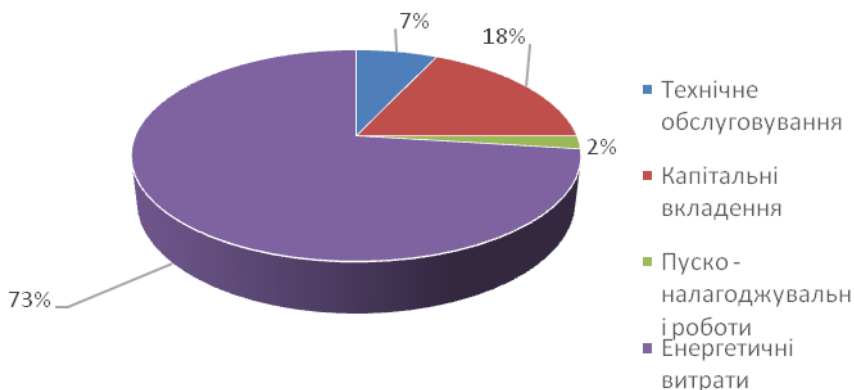


Рисунок 3.4 - Витрати, пов'язані з роботою компресора за 10 років його експлуатації

У таблиці 3.1 наведено приклади заходів стосовно виробництва та використання стиснутого повітря, завдяки яким можна досягти скорочення споживання електроенергії при мінімальних витратах і незначних капіталовкладеннях.

Таблиця 3.1 - Можливості економії енергії при роботі типової промислової системи стиснутого повітря<sup>1</sup>

Рішення	Потенційна економія <sup>2</sup>	Витрати <sup>3</sup>
<b>Управлінські рішення</b>		
Навчання всіх споживачів правильному використанню стиснутого повітря	10-15%	Незначні
Розробка і реалізація програми технічного обслуговування всієї системи	5-8%	Незначні
Установка приладів обліку і здійснення моніторингу	5-10%	Середні
Залучення для проведення пуско – налагоджувальних робіт і модернізації системи тільки компетентного персоналу	5-10%	Незначні
<b>Технічні рішення</b>		
Реалізація програми виявлення та усунення витоків	20-40%	Середні
Недопущення роботи системи в неробочий час	2-10%	Незначні
Правильний вибір та регулювання роботи осушувачів повітря (холодильного та адсорбційного типів)	5-20%	Середні
Технічне оцінювання та налагодження роботи мережі стиснутого повітря	5-10%	Середні
Утилізація теплоти стискання	до 75% у вигляді теплоти	Середні

<sup>1</sup> Працює під тиском 7 бар з продуктивністю 30 нм<sup>3</sup>/хв

<sup>2</sup> Вказані значення є орієнтовними, не сумарними, відмінними для різних систем

<sup>3</sup> Незначні – менше 25 тис. грн, середні – від 25 до 125 тис. грн.

### 3.1. Що призводить до підвищення енергоспоживання в системах стиснутого повітря?

#### 3.1.1. Неефективне, нецільове використання стиснутого повітря

Завдяки своїй безпеці, універсальності та зручності стиснуте повітря застосовується широко. Однак, іноді через ці його властивості воно використовується неправильно, що призводить до нераціональної витрати і непродуктивних втрат енергії. Стиснуте повітря іноді застосовується просто тому, що це швидко і зручно, а не тому, що воно є найбільш економічно доцільним або відповідним ресурсом. У таблиці 3.2 наведено приклади невиправданого використання стиснутого повітря, а також можливі альтернативи його застосування.

Таблиця 3.2 - Неефективне/нецільове використання стиснутого повітря та можливі альтернативи

Напрямок використання стиснутого повітря	Альтернатива
Вентиляція	Вентилятори, повітрорудвки
Перемішування рідин	Механічні мішалки або повітрорудвки
Прибирання робочих місць і підлог, чистка робочого одягу персоналу	Щітки, пилосмоки
Відбракування виробів з технологічної лінії	Механічний маніпулятор
Транспортування порошкових виробів за умов низького тиску	Повітрорудвка

#### 3.1.2. Втрати повітря

Основні втрати при роботі системи стиснутого повітря пов'язані з:

- витоками;
- втратами тиску;

- роботою компресора в той час, коли споживачі стиснутого повітря вимкнені.

Витоки існують в усіх системах стиснутого повітря. Їх зниження є найголовнішим енергозберігаючим заходом. Рівень витоків при погано організованій роботі системи стиснутого повітря може перевищувати 50 % від обсягу його виробництва.

Витоки стиснутого повітря також спричиняють додаткові витрати внаслідок:

- коливань тиску в системі, які можуть призвести до зниження ефективності роботи пневматичних інструментів та іншого обладнання з пневматичним приводом, що потенційно може знизити обсяги виробництва;

- скорочення терміну експлуатації обладнання і позапланових ремонтів через зайву циклічну роботу компресора;

- надлишкової потужності компресора.

У таблиці 3.3 продемонстровано залежність кількості електричної енергії від діаметру отвору, при цьому енергія втрачається внаслідок витоків протягом року за умови роботи системи стиснутого повітря 8 годин на день та п'ятиденному робочому тижні.

Таблиця 3.3 - Величина річних втрат електроенергії з витоками повітря

<b>Діаметр отвору, мм</b>	<b>Об'єм витоків при 6 бар, м<sup>3</sup>/хв</b>	<b>Витрата електричної енергії на витоки, кВт·год</b>
1,0	0,065	600
2,0	0,240	3400
4,0	0,980	13000
6,0	2,120	24000

При відповідній вартості 1 кВт·год можна розрахувати фінансовий еквівалент трат з витоками повітря.

### **3.1.3. Падіння тиску**

Падіння тиску в системі стиснутого повітря обумовлено опором повітряному потоку через тертя в трубопроводі і в різних елементах системи

(наприклад, вентилі, відводи). Неправильно підібраний розмір трубопроводу також призводить до падіння тиску, про що буде докладно розказано в наступному розділі.

Компресор повинен виробляти повітря з тиском, достатнім для подолання втрат тиску в системі і для забезпечення мінімального робочого тиску повітряспоживаючого обладнання або технологічного процесу. В результаті компресор часто виробляє повітря з тиском 8 бар, а в місці споживання тиск становить лише 5,5 бар. Таке падіння тиску в системі на 2,5 бар є марною тратою енергії і грошей.

У правильно спроектованій і змонтованій системі падіння тиску від компресорної станції до місця споживання стиснутого повітря має становити не більше 10 %. Таким чином, при тиску 7 бар його падіння не має перевищувати 0,7 бар.

Необхідність виробляти стиснуте повітря з тиском, що значно перевищує потребу в місці використання, зазвичай є індикатором наявності проблеми у мережі транспортування стиснутого повітря. Реалізуючи заходи зі зниження тиску стиснутого повітря, виробленого компресором, необхідно переконатися, що технологічні процеси не мають дефіциту повітря.

#### **3.1.4. Робота компресора без навантаження**

Компресори часто залишають увімкненими, коли потреба в стиснутому повітрі відсутня (наприклад, вночі). Це призводить до зайвої витрати електроенергії, яка витрачається на компенсацію витоків. Разом з тим, в умовах роботи без навантаження, електроспоживання компресорів може становити до 20-70 % від рівня споживання при повному навантаженні. Крім того, скорочення числа годин роботи знижує витрати на технічне обслуговування та подовжує термін використання компресора.

### **3.2. Роль кожної структурної одиниці системи стиснутого повітря в процесі підвищення її загальної енергетичної ефективності**

Для підвищення енергетичної ефективності систем стиснутого повітря необхідно забезпечити ефективну роботу кожної її складової одиниці.

### **3.2.1. Робота компресора без навантаження**

#### ***Розміщення і установка компресорів***

Компресори повинні знаходитися в сухому, чистому, прохолодному і добре вентиляваному приміщенні. Для стискання теплого і вологого повітря потрібно не тільки більше енергії, але й додаткове осушення, щоб волога не стала причиною корозії труб та інших проблем з обладнанням. **Зниження температури повітря, що надходить у повітрязбірник, дозволяє скоротити обсяги енергії, яку споживає компресор.** Іноді потрібна примусова вентиляція в компресорному приміщенні для зниження температури повітря. Але також є обмеження щодо мінімальної температури – вона не повинна бути нижчою за 3 °С.

Повітрязбірник приміщення компресорної станції повинен, якщо це можливо, розташовуватися на стіні, орієнтованій на північ, або в затіненому місці і мати ґратку для захисту від сторонніх предметів. Повітрязбірники облаштовуються фільтрами для мінімізації зносу та уникнення пошкоджень компресора. Слід регулярно перевіряти фільтри повітрязбірника і своєчасно замінювати їх.

#### ***Тиск на виході з компресора***

Тиск на виході з компресора визначається передусім вимогами обладнання, яке споживає стиснуте повітря, та додатковими допоміжними пристроями та параметрами мережі. З одного боку необхідно забезпечити безперебійне функціонування обладнання підприємства, а з іншого боку – намагатися підтримувати мінімально допустимий тиск у мережі. Зниження тиску на виході компресора на 1 бар зменшує споживання електроенергії на 6-7 % та так званого «не цільового використання» – на 10-15 %.

На допоміжні пристрої має припадати не більше 0,7 бар падіння тиску. У трубопроводах мережі стиснутого повітря падіння не повинно перевищувати 1 бар. Тому треба підбирати діаметр, довжину та конфігурацію трубопроводів у залежності від об'єму та характеру споживання стиснутого повітря обладнанням.

## Утилізація теплоти

Однією з ключових можливостей зниження витрат енергоресурсів є корисне використання (утилізація) «зайвої» теплоти, яка була вироблена компресором у процесі своєї роботи.

Тільки 10 % електроенергії, споживаної компресором, трансформується в енергію стиснутого повітря. Решта (90 %) зазвичай перетворюється в теплоту. Правильно спроектована теплоутилізаційна установка може використовувати понад 80 % цієї теплоти на нагрівання повітря або води. На рис. 3.5 показані можливі напрямки утилізації теплоти компресора.

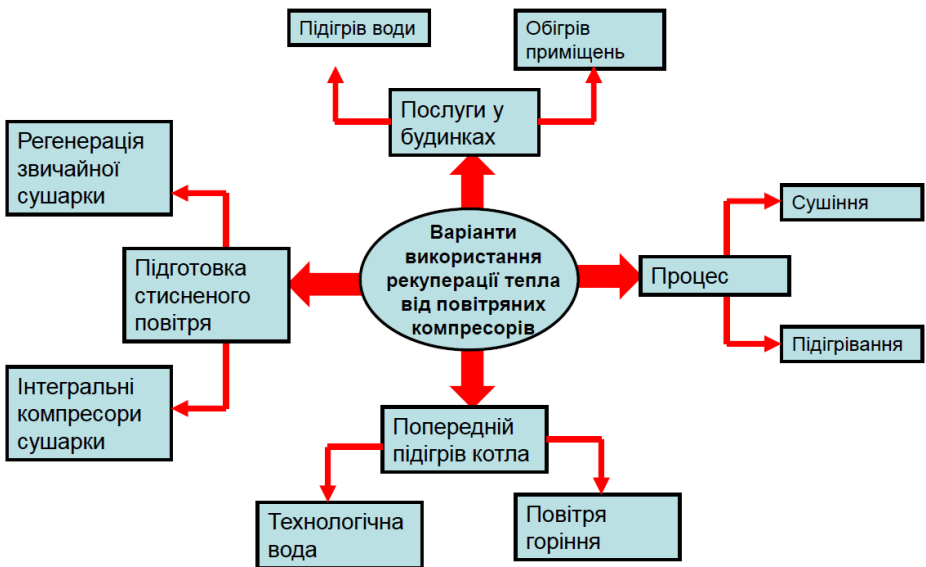


Рисунок 3.5 - Можливі напрямки утилізації теплоти охолоджуючого повітря компресора

Компресори можна придбати в комплекті з теплоутилізаційним обладнанням. Додаткова покупка такої системи також зазвичай буває належним вкладенням коштів. Найкращих термінів окупності можна досягти в тому випадку, якщо система стиснутого повітря і теплоутилізаційна установка проектується як складові частини підприємства. Наприклад, якщо

теплота буде використовуватися на опалення, оптимально буде врахувати це у проєкті опалювальної системи.

Типові області застосування повітря, яке нагрівається:

- опалення (наприклад, складських або виробничих приміщень);
- попереднє нагрівання повітря, що подається в котли.

Типові області застосування води, що нагрівається:

- попереднє нагрівання живильної води для котлів;
- попереднє нагрівання технологічної води (наприклад, для миття пляшок);
- нагрів води для господарсько-побутових потреб.

### **3.2.2. Застосування ресиверів**

Акумуляування повітря – це ще одна функція добре регульованої системи. Визначення обсягів зберігання повітря має проводитися не ізольовано, а бути частиною всебічної стратегії підвищення ефективності системи стиснутого повітря.

Практично в усіх промислових установках потреба в стиснутому повітрі коливається. Тому акумуляування повітря необхідно для підтримки балансу між потребами системи, продуктивністю компресорної станції і системою регулювання. Для цього в системах стиснутого повітря передбачено використання ресиверів. Основне призначення ресивера:

- служити резервуаром, який може забезпечує постійні витрати при імпульсному споживанні стиснутого повітря;
- підтримувати тиск у системі в заданих межах;
- запобігати занадто частому увімкненню робочих циклів компресора.

#### ***Вибір розміру ресивера***

Розмір ресивера залежить від масштабу коливань споживання стиснутого повітря. У більшості випадків правильно підібраний ресивер може покривати витрати в періоди пікового споживання і знову наповнюватися зі зниженням споживання. Ця функція дозволяє підбирати продуктивність компресора, орієнтуючись на середнє, а не на максимальне споживання. У деяких випадках, коли коливання витрат дуже великі, проблема може бути вирішена шляхом установки додаткового невеликого компресора, який

включається за необхідності. Загалом вважається, що обсяг ресивера у м<sup>3</sup> повинен дорівнювати продуктивності компресорів у м<sup>3</sup>/хв. Так, для компресора продуктивністю 10 м<sup>3</sup>/хв потрібен ресивер обсягом 10 м<sup>3</sup>.

### ***Додаткові місцеві ресивери для імпульсного споживання***

Для оптимальної роботи системи стиснутого повітря розмір ресивера повинен підбиратися таким чином, аби забезпечити пікові витрати повітря в системі, які можуть бути викликані будь-яким технологічним процесом або обладнанням з великим імпульсним споживанням стиснутого повітря. У випадках нерегулярного споживання краще встановити ресивер ближче до такої виробничої ділянки чи обладнання, аніж вибирати головний ресивер великого розміру або встановлювати додатковий компресор, який більшість часу буде незадіяним.

Для прийняття рішення про необхідність локального (допоміжного) ресивера стиснутого повітря необхідно:

- оцінити загальний максимальний необхідний об'єм для основного ресивера;
- оцінити об'єм ресивера, необхідного для покриття пікового споживання. Якщо останній перевищує 10% об'єму основного, доцільно встановити локальний резервуар. Його розмір залежить від споживання стиснутого повітря у розрахунку на операцію та допустиме падіння тиску для споживача.

### **3.2.3. Підготовка повітря**

Допоміжне обладнання для підготовки повітря також споживає енергію і тому має розглядатися з точки зору потенційних можливостей енергозбереження. Це обладнання включає повітряосушувачі, фільтри та пристрої для зливу конденсату.

Сфери застосування стиснутого повітря обумовлюють вимоги до якості повітря і, відповідно, способи його очищення. Наприклад, вимоги до чистоти і сухості повітря значно вищі для таких процесів, як розпорошення фарби і збірка електроніки, ніж в звичайному машинобудівному виробництві.

Однак не варто нехтувати якістю продукції та надійністю виробничого процесу заради економії енергії.

## **Чистота (якість) повітря**

Міжнародний стандарт якості повітря ISO 8573.1 передбачає систему класифікації для трьох основних видів забруднюючих речовин (бруд, вода і мастило), присутніх в будь-якій системі стиснутого повітря. Бруд і мастило класифікуються залежно від розміру і концентрації часток, а вміст води – в залежності від тиску точки роси (міра вологості повітря). Рекомендується обговорити вимоги до якості повітря з виробниками обладнання або з консультантами, які повинні порекомендувати прийнятне рішення на основі стандарту ISO 8573.1.

Фільтрування необхідне для видалення забруднюючих речовин зі стиснутого повітря. Фільтри можуть встановлюватися перед і після повітряосушувача, а також у місцях споживання стиснутого повітря.

Виконуючи свою функцію, елементи фільтра поступово засмічуються. Засмічені фільтри:

- можуть спричиняти погіршення надійності системи;
- часто призводять до зниження якості продукції, що випускається;
- підвищують енергоспоживання.

Необхідно регулярно перевіряти елементи фільтрів під час проведення сервісного обслуговування. У багатьох фільтрах встановлено вбудовані в корпус діагностичні датчики, які реєструють падіння тиску в елементах фільтра і вказують на час їхньої заміни. Для порівняння слід виміряти падіння тиску в новому фільтрі.

## **Осушування**

Відповідно до того, як стиснуте повітря виходить з компресора і охолоджується, водяна пара в повітрі, яке подається, конденсується. Цю вологу необхідно видаляти із системи стиснутого повітря для запобігання корозії мережі, несправності обладнання та погіршення якості продукції, що випускається.

Можна досягти різних ступенів осушення. Робота повітряосушувача оцінюється на «точці роси», тобто на температурі, при якій водяна пара з повітря починає конденсуватися. Наприклад, якщо «точка роси» дорівнює +3 °C при тиску 7 бар, це означає, що волога в повітрі не почне конденсуватися, доки температура повітря не опуститься нижче +3 °C.

Осушувачі потребують додаткових енергетичних витрат. Тому важливо правильно його підбирати в залежності від вимог обладнання до якості стиснутого повітря. Якщо вимоги до якості стиснутого повітря різняться, то краще встановлювати осушувач для забезпечення обладнання з більш високими вимогами безпосередньо біля нього, а не для всієї мережі.

### ***Система збору і видалення конденсату***

Конденсат збирають за допомогою дренажних клапанів (конденсатовловлювачів). Вони встановлюються на елементи системи, де буде утворюватися конденсат, наприклад, на:

- кінцевий охолоджувач;
- ресивери;
- осушувачі повітря;
- фільтри.

Витрати на обслуговування та енергетичні витрати істотно відрізняються для різних видів систем, серед яких можна назвати наступні:

- системи з керуванням за рівнем. У цьому типі систем зливу конденсату встановлена інтелектуальна система регулювання, яка виявляє і спускає конденсат (тільки якщо він присутній) без втрат дорогого стиснутого повітря. Ці системи надійні і майже не потребують технічного обслуговування;

- системи з таймером. Ці системи потребують частого коригування установок таймера для обліку мінливих обставин роботи і навантаження системи. При неправильних установках вони скидають значні обсяги дорогого стиснутого повітря або неспроможні видалити весь конденсат, що призводить до потрапляння забруднюючих речовин в систему. Частота і тривалість скидання в системах зливу конденсату з таймером варіюється в різних системах;

- ручні системи зливу конденсату. Їх необхідно часто оглядати для видалення води. У результаті вони часто залишаються відкритими для скидання конденсату – це одночасно призводить до скидання дорогого стиснутого повітря;

- механічні поплавкові системи зливу конденсату. Ці системи дуже чутливі до бруду і можуть заклинити у відкритому положенні, постійно

скидаючи повітря, або в закритому положенні, що призведе до потрапляння в систему забруднюючих речовин з конденсату;

- дискові системи зливу і конденсатовідвідники. При нормальній роботі ці системи постійно скидають дороговартісне стиснуте повітря, навіть якщо конденсат відсутній. Крім того, вони спричиняють емульгування конденсату, що ускладнює його відділення.

Неефективні системи зливу конденсату є основною причиною витоків і, відповідно, втрат енергії. Незважаючи на низьку собівартість, ручні системи і системи з таймером є дуже дорогими в експлуатації. Рекомендується провести розрахунки витрат за весь час служби цих видів обладнання. У таблиці 3.4 наведено приклад випробувань конденсатовідвідників різних систем з метою порівняння енергетичних втрат при їх роботі.

Таблиця 3.4 - Втрати стиснутого повітря та енергії в різних пристроях системи зливу конденсату

<b>Тип системи видалення конденсату</b>	<b>Втрати стиснутого повітря, л/сек</b>	<b>Втрати енергії, кВт·год/день</b>
Електронна система видалення конденсату з керуванням за рівнем	0	<0,1
Система видалення конденсату з таймером (звичайна)	1,0	0,41
Ручна система видалення конденсату (напіввідкрита)	43,3	17,3
Механічна поплавкова система видалення конденсату	4,7	1,89
Дискова система видалення і конденсатовідвідники	1,8	0,76

### **Утилізація конденсату**

Ефективна утилізація конденсату стиснутого повітря на підприємстві досягається за допомогою вологомастиловідділювача, який є простим, економічним і екологічним рішенням.

Вологомастиловідділювачі можуть бути вбудовані в систему стиснутого повітря. Вони допомагають знизити концентрацію мастила в конденсаті до допустимого рівня і дозволяють безпечно відвести в каналізацію до 99,9 % всього обсягу зібраного конденсату. Невеликі обсяги концентрованого мастила збираються в барабанах і можуть утилізуватися.

Система стиснутого повітря з повітряосушувачем холодильного типу, що працює 8 тис. годин на рік, щорічно виробляє приблизно 950 тис. літрів конденсату. Вологомастиловідділювачі значно знижують витрати на утилізацію конденсату.

## 4. МЕТОДИ ЗАХИСНОГО ТА ДЕКОРАТИВНОГО ПОКРИТТЯ МЕТАЛІВ

### 4.1. Фарбування

Фарбування виробів має захисні та декоративні функції. Практично на всіх виробництвах машинобудівного комплексу є фарбувальні цехи. Понад 50 % лакофарбових матеріалів, які виробляються в світі, використовуються на машинобудівних підприємствах. Враховуючи постійне зростання цін на матеріали та енергетичні ресурси, обладнання для фарбування, самі фарбувальні матеріали та відповідні технології постійно вдосконалюються.

У залежності від технології нанесення фарби на поверхню металу послідовність дій та самі дії схожі між собою. Це:

- підготовка поверхні металу під фарбування;
- нанесення ґрунтовки (або без ґрунтовки);
- сушка;
- нанесення фарбувального матеріалу;
- сушка.

#### ***Підготовка поверхні металу під фарбування***

Якісна підготовка поверхні під фарбування – одна з основних умов якості та довговічності лакофарбового покриття. Вважається, що якість покриття на 50-60 % залежить від якості підготовки поверхні до фарбування, на 20-30 % –

від якості лакофарбового матеріалу і на 20 % – від якості нанесення лакофарбового матеріалу.

Мета підготовки поверхні – видалення будь-яких забруднень, що заважають безпосередньому контакту лакофарбового матеріалу з підкладкою, а також створення рельєфу поверхні, що сприяє збільшенню істинної поверхні контакту.

Підготовка поверхні під фарбування складається з наступних основних операцій:

- усунення дефектів поверхні;
- видалення мастильних і жиркових забруднень;
- видалення продуктів корозії;
- видалення інших забруднень (хлоридів, пилу, залишків абразиву тощо).

Роботи з усунення дефектів поверхні (задирки, гострі кромки, зварювальні бризки тощо) здебільшого виконуються в процесі виготовлення конструкцій до початку очисних робіт.

Для видалення забруднень і створення необхідної шорсткості поверхні застосовують переважно механічні та хімічні методи. Термічний метод з використанням газокисневих пальників в даний час практично не застосовується через пожежонебезпеку та непривабливість праці.

Вибір того чи іншого методу оброблення (або їх поєднання) виконується з урахуванням наступних основних факторів:

- необхідного рівня і певного рельєфу поверхні;
- сумісності з вибраною системою лакофарбового покриття;
- матеріалу і вихідного стану поверхні;
- наявності раніше нанесених покриттів і їхнього стану;
- необхідної довговічності покриття з урахуванням умов експлуатації об'єкта;
- наявності відповідного обладнання, матеріалів, приладів контролю, персоналу;
- доступності поверхонь, можливості необхідного освітлення;
- відповідності умовам безпеки праці та охорони довкілля;
- економічної доцільності.

Оскільки вартість очисних робіт визначається рівнем чистоти поверхні, то треба вибирати або рівень чистоти, відповідний обраним лакофарбовим матеріалам, або, навпаки, лакофарбові матеріали та систему покриття, які будуть відповідати тому рівню, який реально можливо забезпечити, виходячи з наявності обладнання, якості абразиву, кваліфікації персоналу тощо.

Оптимізація витрат на підготовку поверхонь перед фарбуванням ґрунтується на наступній тезі: прагнути досягти найвищого рівня чистоти не завжди доцільно, радше потрібно забезпечити рівень, необхідний для конкретної системи покриття і умов експлуатації об'єкта фарбування, враховуючи суттєве зростання витрат з підвищенням ступеня чистоти поверхні.

Для уникнення забруднення поверхні речовинами, які стимулюють корозію, а також з метою зниження вартості очисних робіт, слід уникати зберігання виробів і конструкцій, що підлягають фарбуванню, в промисловій або морській атмосфері.

Наскільки можливо, слід здійснити підготовку металевої поверхні, коли корозія сталі за стандартом ISO 8501-1 оцінюється ступенем А або між А і В.

Після очищення слід якомога швидше нанести шар міжопераційної ґрунтовки.

Для уникнення конденсації вологи температура поверхні виробів, що очищуються, повинна бути вищою за «точку роси» щонайменше на 3 °С.

Перед проведенням піскоструменевої обробки поверхню необхідно очистити від мастил, бруду та інших забруднювачів. За наявності товстого шару іржі її рекомендується попередньо зняти за допомогою ручного або механізованого інструменту.

Мастильні та жирові забруднення повинні бути видалені розчинником або водними миючими засобами. Крейдяні забруднення, розчинні солі, кіптява від зварювання і різання видаляються прісною водою, за необхідності використовують пневматичні щітки.

Спосіб підготовки металевої поверхні, тип абразиву, чистота поверхні, шорсткість та інші параметри очищення повинні бути вказані в договірній і (або) технологічній документації на фарбувальні роботи і не повинні суперечити рекомендаціям для лакофарбових матеріалів.

Обробляючи раніше пофарбовані поверхонь під фарбування, не завжди потрібно повністю видаляти попереднє покриття. У випадках, коли можливо допустити локальне видалення колишнього покриття, необхідно дотримуватися таких умов:

- покриття, що залишилося, повинне бути сумісним з новим покриттям і не знижувати його захисні властивості;
- під час локального очищення не повинні бути пошкоджені сусідні ділянки;
- це має бути економічно доцільним.

### ***Нанесення фарби***

На сьогодні існує багато різноманітних способів нанесення фарби на вироби. Найпоширенішими вважаються наступні:

- пневматичне розпилення за допомогою стиснутого повітря;
- безповітряне розпилення під високим тиском;
- розпилення в електричному полі високої напруги;
- аерозольне розпилення з використанням зрідженого газу у складі лакофарбового матеріалу;
- занурення;
- обливання;
- електроосадження у ванні з водорозчинним лакофарбовим матеріалом;
- застосування валиків та щіток.

Вибір методу залежить від властивостей фарбового матеріалу, вимог до покриття, потреби у продуктивності процесу, характеру виробництва (серійне, штучне), місця для виконання малярних робіт.

Головними ресурсами при фарбуванні за ступенем їх вартісної оцінки є фарба, розчинники та енергоресурси. Порівняння різних промислових методів фарбування виробів виконують, у першу чергу, за ефективністю використання фарби.

Для запобігання втрат при фарбуванні від неякісного покриття необхідно дотримуватися простих вимог до місця виконання процесу та висушування фарби.

#### **4.1.1. Умови фарбування**

При нанесенні захисно-декоративних покриттів одними з найбільш важливих факторів, які впливають на якість покриття, є наступні:

- температура поверхні;
- температура фарби;
- атмосферні умови під час фарбування.

Фарбування не повинно виконуватися:

- коли температура повітря падає нижче температури висихання або допустимої специфікацією межі;
- в умовах туману або підвищеної вологості;
- коли на поверхні, що фарбується, конденсується волога, або коли конденсована волога може з'явитися під час початкового періоду висихання.

Необхідно враховувати, що вночі температура фарбованої поверхні знижується. Протягом дня вона знову підвищується, але через запізнення нагріву/охолодження в порівнянні з температурою навколишнього повітря на поверхні (метал), яка не поглинає вологу, може відбутися конденсація. Щоб цього не сталося, не слід наносити лакофарбове покриття, коли температура металу падає від рівня «точки роси» на понад 3 °С.

#### ***Екстремальні умови***

До екстремальних умов відноситься температура довкілля, яка є нижчою + 5 °С і вищою за + 40 °С.

При температурі нижчою за + 5 °С висихання та затвердіння покриттів різко уповільнюється, а для деяких з них просто припиняється. Особливо це

стосується лакофарбових матеріалів (ЛФМ) (типу ЕП, ПУ) і ЛФМ, затверджувачем яких є хімічні домішки та кисень повітря (типу ПФ, ГФ). Тому застосування подібних ЛФМ за низьких температур не допускається, окрім випадків, обумовлених специфікаціями на ЛФМ (сучасні модифіковані епоксидні та поліуретанові ЛФМ). На інші захисні покриття екстремально низькі температури так сильно не діють; хлоркаучук і вініл придатні для використання при температурі нижче 0 °С за умови, що поверхня чиста і вільна від льоду або паморозі.

В умовах інших крайніх температур (+ 40 °С і вище), висихання і затвердіння фарб відбувається досить швидко, що може спричинити сухе розпорошення, пов'язане із занадто швидкою втратою розчинника на шляху від розпилювального сопла до поверхні. Цього можна уникнути у випадках:

- утримання пістолета на мінімальній відстані від ділянки, яка фарбується, і під кутом в 90 ° до поверхні;
- додавання розчинників за необхідності.

В умовах високих температур також можливе утворення таких дефектів як пористість, краплення, бульбашки та шагрені через швидке випаровування розчинника.

Виконання на всіх стадіях вимог технології фарбувальних робіт дозволяє отримати покриття з найбільш повними захисними властивостями і максимальною довговічністю.

#### **4.1.2. Пневматичне розпилення за допомогою стиснутого повітря**

Це найбільш розповсюджений спосіб нанесення покриття на вироби в машинобудуванні.

Пневматичне розпилення фарби – універсальний метод, його можна використовувати в будь-яких умовах. Він застосується як при експлуатації автоматизованих виробничих ліній, так і при ручному фарбуванні. Обладнання, що використовується для пневматичного фарбування, має доступну вартість, невеликі витрати на його обслуговування. Воно має просту конструкцію і характеризується надійністю та довговічністю.

Загальним для цих типів фарбувальних систем є те, що стиснуте повітря, проходячи через розпилюючу головку фарбувального пістолета, формує

фарбувальний факел, до найдрібніших крапель розбиваючи ЛФМ і утворюючи повітряно-крапельну дисперсію (аерозоль).

На рис. 4.1 наведено принцип роботи фарбопульта.



Рисунок 4.1 - Принцип работы фарбопульта

Аерозоль у складі факелу переноситься на поверхню і осідає на ній, тим самим створюючи лакофарбове покриття. При цьому слід враховувати, що більшість мікрокрапель не долітають до поверхні, що фарбується, а, утворюючи фарбувальний туман, осідають десь за її межами, що стає причиною значного збільшення непродуктивної витрати ЛФМ та розчинника.

Введення на початку 80-х рр. минулого століття нових, більш жорстких законів, що стосуються захисту довкілля, змусило виробників фарбувального обладнання розробити більш досконале з екологічної точки зору фарбувальне обладнання. На сьогодні метод пневматичного розпилення поділяється на:

1. CONV-конвенціональна система – розпорощення виконується при високому тиску стиснутого повітря в розпилюючій голівці до 4-х бар;

2. HVLP (HighVolume / LowPressure – великий обсяг / низький тиск) – розпорошення пр виконується оводиться при низькому тиску в розпилюючій голівці (0,7 бар);

3. Оптимізовані системи розпилення:

- LVLP (LowVolume / LowPressure – низький обсяг / низький тиск) – розпорошення виконується при тиску в розпилюючій голівці 0,7-1,2 бар.

- HTE (HighTransferEfficiency – висока ефективність перенесення) – розпорошення виконується при середньому тиску в розпилюючій голівці 1,2-1,3 бар.

- LVMP (LowVolume / MiddlePressure – низький обсяг / середній тиск) – розпорошення виконується при середньому тиску в розпилюючій голівці 1,6 бар.

### ***Конвенціональна система***

Досить тривалий час, протягом майже всього ХХ століття, пневматичні пістолети були представлені фарбопультами високого тиску конвенційного типу з вхідним тиском приблизно 3-4 бар.

Систему високого тиску ще називають «прямою». Це обумовлено тим, що тиск на вході в фарбувальний пістолет приблизно дорівнює тиску на виході з розпилюючої головки.

Пістолети високого тиску конвенційного типу мають досить скромні вимоги до продуктивності компресора (приблизно 300 л/хвилину).

Але фарбопульти конвенційного типу мають один суттєвий недолік: невисокий коефіцієнт перенесення ЛФМ, в середньому 30-35 % (хоча, в залежності від амбіцій виробників подібного обладнання, характеристики, що заявляються, іноді доходили і до 45 %, але попри все і це дуже мало).

Переваги способу:

- можливість наносити практично всі різновиди лакофарбових матеріалів без будь-яких обмежень;

- можливість якісного фарбування предметів різної форми та розмірів;

- обсяг фарби може бути мінімальним;
- можливість створення якості покриття високого класу;
- форму факелу та об'єм фарби, яка подається, можна оперативнo регулювати;
- метод достатньо універсальний, його можна використовувати як при експлуатації автоматизованих виробництв, так і для ручного фарбування;
- обладнання для цього методу досить просте і надійне, витрати на його обслуговування незначні.

До недоліків способу відносяться:

- велике забруднення повітря аерозолем лакофарбових матеріалів і, як наслідок, необхідність його очищення з використанням різних фільтрів;
- високі втрати матеріалу (максимальне теоретичне значення масоперенесення не перевищує 45 %, на практиці реально це значення складає 30-35 %).

### ***Система HVLP***

Використовується більш досконалий з екологічної точки зору фарбувальний пістолет. Ним є прилад системи HVLP, який розпилює лакофарбовий матеріал при 0,7 бар тиску (приблизно) на виході з фарбопульта. Якщо на вході виставити робочий тиск 2 бар, то на виході гарантовано буде 0,7 бар (за умови справності фарбувального фарбопульта).

За рахунок низького тиску стиснутого повітря досягається високий коефіцієнт перенесення лакофарбового матеріалу на поверхню (від 60 до 70 %, у деяких випадках до 85 %, а також, формується однорідний факел.

Зменшити тиск повітря у головці, що розпилює, вдалося за рахунок зміни її конструкції. Вихідні отвори стали набагато більшими, ніж у конвенціональних пістолетів високого тиску, та й діаметр самих повітряних каналів всередині пістолета збільшився. Це полегшує очищення фарбопульта. Але збільшення коефіцієнта перенесення збільшило і ризик

утворення напливів. Тому при роботі з обладнанням даного типу необхідно чітко дотримуватися рекомендацій виробника.

Для того, щоб у фарбувальний пістолет подавалося підготовлене для використання стиснуте повітря, на пневматичній лінії обов'язково повинен бути фільтруючий модуль, який складається з фільтра грубого очищення, відділювача вологи та мастила і змінний фільтр тонкого очищення.

Правильна та ефективна робота цих фільтрів вкрай важлива, тому що фарбувальні пістолети системи HVLP чутливі до перепадів тиску, які сильно впливають на однорідність факела і, відповідно, на результат фарбування. Також фарборозпилювачі системи HVLP характеризуються більш низькою продуктивністю роботи, порівнюючи з конвенціональною системою.

Але плюсів у фарбувальній системі HVLP все одно набагато більше і вони істотніші за мінуси.

Спосіб має наступні переваги:

- значення масоперенесення дуже велике (теоретично до 85 %);
- межі факелу чітко окреслені повітряним коридором, а це, відповідно, зменшує втрати фарби;
- забезпечується висока якість створеного покриття;
- в'язкість лакофарбових матеріалів може бути різною;
- форма факелу і кількість фарби в ньому легко регулюється;
- відпадає необхідність підготовки повітря високої якості, оскільки технологія не передбачає його стискання під високим тиском;
- кількість конденсату, який необхідно виділити з повітря, зменшується, і тому знижуються витрати електроенергії на осушування повітря.

До недоліків відносяться:

- порівнюючи з конвенціональною системою фарбування, продуктивність трохи менша;
- обов'язковою умовою є використання компресора з продуктивністю не менше 600 л/хв. Компресори з меншою продуктивністю не дозволяють отримати необхідну якість поверхні, яка фарбується;
- використовувані компресори мають порівняно більшу вартість.

Головне – це значне зниження фарбувального туману, що дає до 30 % економію лакофарбового матеріалу та покращення середовища цеху.

*Якщо, наприклад, для забарвлення крила легкового автомобіля при використанні конвенційного пістолета високого тиску в середньому потрібно 200-250 г лакофарбового матеріалу, то застосування фарбувального пістолета HVLP знижує цю кількість до 100-150 г, (звичайно, багато чого залежить від якості матеріалу, майстерності маляра і властивостей автомобільної емалевої фарби.)*

Оптимізовані системи розпилення LVLP, HTE, LVMP не мають такого широкого розповсюдження у промисловості, вони мають значно меншу продуктивність та використовуються здебільшого на малих підприємствах.

#### **4.1.3. Пневматичне розпилення з підігрівом лакофарбового матеріалу**

Підігрів дозволяє розпилювати лакофарбовий матеріал з підвищеною в'язкістю без застосування розчинників (додаткового розрідження фарб), тому що при нагріванні знижується поверхневий натяг і в'язкість ЛФМ. Часто для певних лакофарбових матеріалів рекомендується оптимальний показник вихідної в'язкості. Ступінь зниження в'язкості здебільшого залежить від плівкоутворювального компонента лакофарбової системи.

Покриття, отримане таким способом, відрізняється більш високою якістю. Це обумовлено тим, що при підігріві фарби підвищується її плинність, збільшується глянець і поверхня не «біліє» від конденсату вологи.

Пневматичне розпилення з нагріванням лакофарбового матеріалу має деякі переваги над розпиленням без нагрівання:

- підвищується продуктивність за рахунок меншої кількості шарів ЛФМ, що наносяться;
- завдяки нагріванню витрачається менше розчинників (для пентафталевих, олійних, гліфталевих, меламіно-, мочевиноалкідних матеріалів близько 40 %, а для нітроцелюлозних – до 30 %);

- можна наносити матеріали з високим вмістом сухої речовини і підвищеної в'язкості;

- через швидкість нанесення і знижений вміст розчинників в ЛФМ зменшується туманоутворення та, відповідно, втрати на них;

- при нагріванні покращуються властивості ЛФМ і збільшується товщина шару фарби, внаслідок чого зменшується кількість шарів, що наносяться.

Не всі лакофарбові матеріали можна наносити методом пневматичного розпилення з підігрівом. Підходять тільки ті, структура яких не змінюється при нагріванні, а покриття утворюється з високими захисними властивостями. Широко використовуються нітрогліфталеві, нітроцелюлозні, бітумні, гліфталеві емалі і лаки, сечовинні, меламіноалкідні, перхлорвінілові та нітроепоксидні емалі марки ХВ-113.

Лакофарбові покриття, нанесені пневматичним розпиленням з попереднім підігрівом, за механо-фізичними властивостями і корозійною стійкістю не поступаються покриттю з тих же матеріалів, розріджених до необхідної в'язкості розчинником і нанесених розпиленням без підігріву (за однакової товщини).

#### **4.1.4. Безповітряне розпилення під високим тиском**

На відміну від методів повітряного розпилення при безповітряному розпиленні повітря не змішується з фарбою, звідси і назва. Розпилення досягається проходженням фарби через спеціально сконструйовані сопла під високим тиском. Необхідний тиск фарби створюється повітрям у насосі, що дає високе співвідношення тиску рідини на виході до вихідного тиску повітря. Існують насоси зі співвідношенням від 20:1 до 60:1, з них найпоширеніші – 45:1. Сопла для розпилення фарби піддаються високому абразивному зносу, тому ефективніше використовувати сопла з твердих сплавів, наприклад, з карбиду вольфраму. Розпорошене «віяло» створюється щільною насадкою, укріпленою на лицьовій частині отвору. Існують різні розміри отвору разом з різними кутами нахилу щілини. Вибір насадки обумовлюється необхідним тиском рідини, в'язкістю ЛФМ (діаметр сопла), типом конструкції, що фарбується (кут сопла). При цьому для мінімізації втрат та збільшення продуктивності при фарбуванні дрібногабаритних або ґратчастих конструкцій рекомендується використовувати вузькокутові сопла,

а для суцільних великогабаритних поверхонь – ширококутові. Товщина лакофарбового покриття регулюється швидкістю подавання рідини.

Фарбування може виконуватися як з підігріванням ЛФМ, так і без нього. Фарбування з підігріванням ЛФМ дає можливість отримати якіснішу поверхню пофарбованого виробу. Але використання методу без підігрівання має ряд переваг – обладнання має простішу конструкції та нижчі енерговитрати.

Переваги способу фарбування під високим тиском, порівнюючи з пневматичним розпиленням:

- зменшення втрат матеріалів на 20-35 %;
- скорочення витрати розчинників;
- скорочення циклу фарбування;
- можлива дуже висока продуктивність, що дає значний економічний ефект;
- значне зниження кількості небезпечного пилу та випаровування, покращення екології.

До недоліків способу фарбування під високим тиском відносяться:

- неефективність використання для фарбування окремих дрібних деталей;
- неможливість змінити витрати та ширину факелу у процесі роботи;
- гірша якість отриманого покриття;
- неефективність використання способу фарбування під високим тиском у разі часті зміни виду або кольору ЛФМ, а також при розпиленні малої кількості ЛФМ.

Вказаний спосіб рекомендовано використовувати для фарбування середніх, крупних та особливо крупних виробів у серійному та одиничному виробництвах.

#### 4.1.5. Фарбування зануренням

Метод фарбування зануренням широко використовується в різних галузях промисловості. Він простий і продуктивний. Але внаслідок того, що результатом даного методу фарбування стають покриття з невисокими декоративними властивостями і нерівномірні за товщиною, метод переважно використовується для нанесення повільно висихаючих ґрунтовок (фенольних, гліфталевих і ін.) і для фарбування виробів, до покриття яких не висувають високих декоративних вимог.

Якість і товщина покриття залежать від в'язкості матеріалу, що наноситься, температури, вмісту сухого залишку в фарбі або ґрунтовці, доведених до робочої в'язкості та інших чинників.

Для отримання порівняно рівномірного покриття за товщиною робоча в'язкість гліфталевих матеріалів рекомендується близько 20 ... 25 с, а фенольних ґрунтовок 16 ... 18 с по віскозиметру при 20 °С. Виймати деталі з ванни потрібно повільно, бо зі збільшенням швидкості виймання нерівномірність товщини покриттів зростає. Занурювати і виймати деталі з ванни потрібно плавно. Деталі слід завішувати на спеціальних пристроях з мінімальними відстанями між ними. Це сприятиме якіснішому стіканню надлишків нанесеного матеріалу. Тривалість стікання при температурі 18 ... 25 °С рекомендується не менше 10 ... 12 хв. Уповільнення стікання дозволяє отримати більш рівномірну товщину покриття і запобігає утворенню великих напливів і патьоків. Деталі після занурення на час стікання фарби і сушки повинні залишатися в такому ж положенні, як і при зануренні.

З часом у ванні відбувається збільшення в'язкості лакофарбових матеріалів. Це стається переважно внаслідок випаровування розчинників, тому вміст ванни необхідно періодично коригувати, додаючи відповідні розчинники.

Установки для фарбування зануренням не складні. Якщо обсяг фарбувальних робіт незначний, а деталі невеликих розмірів, то їх занурюють у ванну вручну. В умовах масового виробництва, коли вироби надходять безперервно, фарбування зануренням здійснюється за допомогою розміщення виробів на підвісному одно- або дволанцюговому конвеєрі. Втрати фарби таким методом складають 10-15 %.

#### **4.1.6. Забарвлення методом струминного обливання**

Цей метод полягає в тому, що виріб, забарвлений лакофарбовим матеріалом з сопел пристрою для обливання, розміщують в атмосферу, яка містить контрольовану кількість пари органічних розчинників. Витримка виробу з нанесеним шаром лакофарбового матеріалу в атмосфері парів розчинників дозволяє сповільнити процес випаровування з нього розчинника в початковий момент формування покриття. Це дає можливість зайвий кількості лакофарбового матеріалу стекти з виробу, а тій, що залишилася – рівномірно розподілитися на поверхні. Порівнюючи з забарвленням в електричному полі, забезпечується краща якість покриття деталей будь-якої конфігурації. Метод струминного обливання застосовується для ґрунтування і фарбування виробів у серійному і масовому виробництвах. Втрати ЛФМ не перевищують 5 %.

#### **4.1.7. Забарвлення розпиленням в електричному полі високої напруги**

Метод заснований на перенесенні заряджених частинок фарби в електричному полі високої напруги, що утворюється між системою електродів, одним з яких є коронуваний фарборозпилюючий пристрій, іншим – виріб, що фарбується. Лакофарбовий матеріал надходить на коронуючу кромку розпилювача, де набуває негативного заряду і розпоршується під дією електричних сил, потім направляється до заземленого виробу, осідаючи на його поверхні. Такий метод часто застосовують на конвеєрних лініях з використанням стаціонарних установок або ручних фарборозпилювачів. Продуктивність процесу забарвлення залежить від того, які види фарборозпилюючих установок використовуються і скільки їх. Ручні фарборозпилювачі характеризуються досить маленькою продуктивністю, хоча мають ряд переваг: невелика втрата лакофарбового матеріалу 15-20 %, можливість фарбувати вироби ґратчастої структури тощо.

#### 4.1.8. Порошкове фарбування

Нанесення полімерних порошкових фарб – це екологічно чиста, безвідходна технологія отримання високоякісних захисних і захисно-декоративних полімерних покриттів. Покриття формують із полімерних порошоків, які напилюють на поверхню виробу, а потім в печі під певною температурою проходить процес термообробки (полімеризації).

Основний принцип нанесення покриття полягає в протягуванні заряджених частинок фарби до заземленої поверхні деталі. Для нанесення порошкових фарб придатна більшість термостійких твердих тіл і, перш за все, металевих деталей.

Технологічний процес отримання покриттів з порошкових фарб містить три основні стадії:

- підготовка поверхні;
- нанесення порошкового матеріалу;
- полімеризація (оплавлення) порошкового шару.

Якість покриттів залежить від суворого дотримання технологічних режимів всіх стадій процесу. Порошкові фарби зазвичай наносять на вироби після завершення всіх механічних і термічних операцій. Вироби не повинні мати задирів, відкритих крайок (радіусом заокруглень менше 0,3 мм), зварних швів, які виступають, зварювальних бризок, пропалених точок, тріщин; поверхня повинна бути сухою, чистою, без окалини та іржі (в разі металів), не містити мастильних та інших забруднень.

На рис. 4.2 та 4.3 наведено зовнішній вигляд цеху порошкового фарбування та процес нанесення порошкової фарби на виріб.



Рисунок 4.2 - Видгляд цеху порошкового фарбування



Рисунок 4.3 - Нанесення порошкової фарби на виріб

У даній технології не використовуються вогненебезпечні і токсичні рідкі розчинники, тому вона практично безпечна. Відсутність розчинників забезпечує додаткову економію на вартості фарби. Крім того, вибір кольорів і текстури практично не обмежений. Даний метод фарбування дозволяє вибирати будь-які відтінки і фактури, наприклад, золотистий або сріблястий металік, поверхні під бронзу, срібло або граніт. Використовуючи метод порошковою фарбування, можна отримувати поверхні з різним ступенем глянцю, а також з рельєфною фактурою.

Порошкові фарби постачаються у готовому вигляді, що дозволяє уникнути такі коштовні процедури як контроль в'язкості і колорування. Це забезпечує фарбам економічність, стійкість, міцність, довговічність.

Порошкове фарбування забезпечує утворення удароміцного антикорозійного покриття, яке працює в температурному діапазоні від -60 до + 150 °С і забезпечує надійну електроізоляцію. Різкі зміни температури не впливають на якість фарби.

Основні переваги порошкових покриттів, порівнюючи з фарбами на розчинниках:

- втрати при порошковому фарбуванні складають всього 1-4 %;
- відмінні декоративні та фізико-хімічні властивості покриттів, недосяжні при традиційних способах фарбування;
- покриття виробів може здійснюватися без ґрунтування поверхні;
- за рахунок 100%-го вмісту сухої речовини, порошкове покриття наноситься в один шар, на відміну від дорогих багат шарових рідких покриттів;
- поруватість у порошковому покритті набагато менша. Більшість порошкових фарб має поліпшені антикорозійні та удароміцні властивості, порівнюючи з традиційними фарбами;
- порошкові фарби поставляються споживачеві в готовому до застосування вигляді;
- затвердіння порошкового покриття відбувається протягом всього 30 хвилин;
- порошкові фарби не потребують великих складських приміщень для зберігання.

Також ця технологія має суто екологічні переваги:

- фарба не містить шкідливих органічних сполук;
- технологія є екологічно чистою;
- знижена небезпека загоряння;
- мінімальне виділення хімічного запаху;
- технологія сприяє поліпшенню санітарно-гігієнічних умов праці;
- концентрація летючих речовин, що виділяються в процесі полімеризації, ніколи не досягає гранично допустимої норми.

При порошковому фарбуванні потрібно враховувати наступні особливості:

- фарбування тільки в цехових умовах з використанням спеціального обладнання;
- неможливість колорування – застосування тільки порошкових фарб від виробника;
- неможливість усунення локальних дефектів покриття – потрібно перефарбовувати виріб повністю;
- можна фарбувати тільки вироби з термостійких матеріалів (температура полімеризації 180-200 °С);
- обмеження розмірів виробів для фарбування габаритами робочого простору печі полімеризації.

## 4.2. Гальванічне покриття

Одним із основних ресурсів, який використовується в гальванічному виробництві, є вода. Вона використовується на всіх стадіях технологічного процесу. Традиційно технологи гальванічних виробництв головну увагу приділяли використанню матеріальних ресурсів. В той же час вода стає на планеті ресурсом номер один. Крім того, її втрати часто призводять до додаткових втрат енергетичних і матеріальних ресурсів. Тому розглянуто можливості з підвищення ефективності використання води гальванічних виробництв.

У максимальній кількості вода використовується в системах промивання.

Окрім безпосередньо функції промивання промивна вода уловлює та накопичує матеріали з попередньої технологічної ванни. Уловлювання передбачає подальше повернення уловлюваного розчину в технологічну ванну.

Найбільш розповсюдженим є спосіб промивання занурюванням, який здійснюється в протокових та напівпротокових умовах.

Під час промивання в протитечійній воді після технологічної ванни застосовують три основні схеми (рис. 4.4): одноступеневе промивання в одній (одинарній) ванні (рис. 4.4.а); багатоступеневе прямоточне промивання в декількох послідовно встановлених ваннах промивки, які обладнані самостійною системою подавання і зливання води (рис. 4.4.б); багатоступеневе протитокове (багатокаскадне) промивання (рис. 4.4.в, 4.4.г), при якій напрямок потоку води спрямований протилежно до руху деталей.

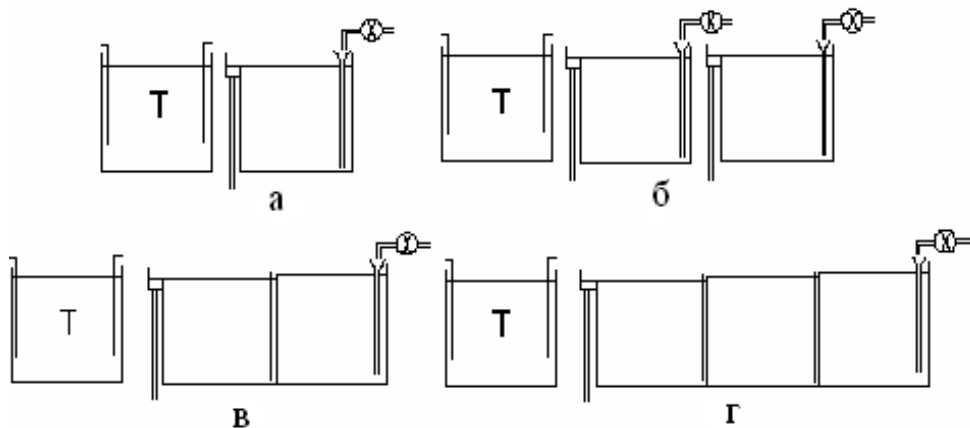


Рисунок 4.4 - Схеми промивання в протитечійній воді після технологічної ванни

а – одноступеневе (одинарне); б – двоступеневе прямоточне; в – двоступеневе протиточне (двокаскадне); г – триступенева протиточна (трикаскадна) ванна промивання;

Т – технологічна ванна

Багатокаскадне протиточне промивання, при інших рівних умовах, забезпечує меншу кількість води, але більші концентрації забруднень у стічних водах, що надходять на очищення.

Застосування багатокаскадних ванн промивання не тільки скорочує витрату промивної води (а значить, і обсяг стічних вод), але й полегшує роботу очисних споруд; а в деяких випадках і дозволяє різко скоротити кількість очисного обладнання і виробничих площ, призначених для очищення стічних вод. Зміна схем промивання може в десятки разів скоротити витрати на очищення стічних вод, а в деяких випадках взагалі звести їх до нуля.

Промивання у ваннах з проточною водою забезпечує не тільки видалення компонентів розчинів з поверхні деталей, але й постійну підтримку мінімальної забрудненості промивної води.

#### **4.2.1. Основні способи скорочення витрати води на промивання (раціоналізація водоспоживання)**

У гальванічному виробництві є наступні способи зменшення споживання води:

- чим більше ванн (ступенів) промивання, тим менше необхідно води;
- при заміні прямиоточного промивання на протиточне витрата води скорочується пропорційно кількості ступенів промивання;
- збільшення ступенів промивання дає різне скорочення витрати води: більше скорочення (в декілька разів) досягається при заміні одноступеневої ванни промивання (одинарної) на двоступеневу (прямиоточну протитечійну). Збільшення ступенів промивання ще на одну призводить до менш значного скорочення витрати води. Тому на практиці більше трьох ступенів проточного промивання встановлювати не рекомендується.

Є три підходи, за допомогою яких можна регулювати водоспоживання: зміна кількості ступенів промивання, зміна прямиотоку на протиток і переведення протокових ван на періодично непротокові.

Збільшення кількості ванн або заміна типу ванн промивання вимагає додаткової виробничої площі. Крім того, це пов'язано з роботами щодо переробки металоконструкцій гальванічної лінії, трубопроводів, а також

каналізаційної та вентиляційної систем.

Щоб уникнути значних витрат на ремонт гальванічної лінії замість збільшення кількості ступенів промивання, можна запропонувати ряд додаткових заходів раціоналізації водоспоживання, здійснення яких не потребує значних додаткових капітальних витрат, але які значно оптимізують вже існуючі системи промивання. До таких заходів належать:

- використання води з систем охолодження і нагріву;
- інтенсифікація промивання;
- зміна послідовності промивних операцій;
- використання промивної води на інших операціях промивання.

#### **4.2.2. Використання води з систем охолодження і нагрівання**

У разі відсутності на підприємстві оборотного водопостачання в системах охолодження і нагрівання на промивних операціях доцільно використовувати воду після охолодження випрямлювачів, гарячу воду після нагрівання ванн промивання, знежирення, хромування, нікелювання тощо. При паровому нагріванні ванн утворюваний конденсат краще використовувати для приготування або коригування технологічних ванн.

Тут слід зазначити, що хоча використання даного способу скорочення витрат води на промивання не призводить до скорочення обсягів стічних вод, зате знижує плату за споживану воду.

#### **4.2.3. Інтенсифікація промивання**

Ідеальне промивання передбачає повне вирівнювання складу розчину на поверхні деталі зі складом промивної води в об'ємі промивної ванни. Насправді розчин, принесений деталями в промивну ванну, змішується з промивною водою не миттєво, а протягом нетривалого проміжку часу, що визначається швидкістю дифузійних процесів. Рекомендована тривалість промивання деталей на підвісках у спокійній воді становить не менше

60-100 с у залежності від властивостей розчинів, які відмиваються і температури промивної води. При недостатній тривалості промивання іони і часточки, які відмиваються, не встигають дифундувати з поверхні деталей в об'єм промивної ванни. Це призводить до підвищеного переносу речовин, що відмиваються, в наступні ванни, тобто до неякісного промивання. На практиці для часткової інтенсифікації дифузійних процесів зазвичай збільшують подачу води, що призводить до її перевитрати. Для уникнення цього рекомендується інтенсифікувати промивання шляхом перемішування промивної води за допомогою барботерів у ванні підвісного типу, а в барабанних ваннах – шляхом не менше двократного занурення обертового барабана у ванну промивання на 10-15 с з подальшою витримкою його над ванною до припинення стікання рідини.

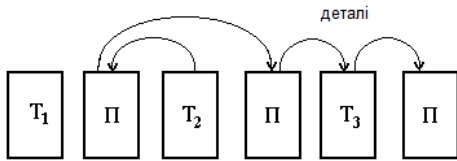
#### **4.2.4. Зміна послідовності промивних операцій**

Після технологічної операції деталі додатково промивають у ваннах промивання по одному з трьох варіантів: після попередньої (див. рис. 4.5.а), або після наступної технологічної ванни (див. рис. 4.5.б), або після попередньої і після подальшої ванн (див. рис. 4.5.в).

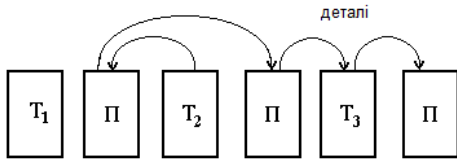
У першому і в другому варіантах зміни послідовності промивання кількість прямотоківих ступенів промивання збільшується на один, а в третьому – на два ступені.

Таким чином, без будь-яких витрат можна в кілька разів скоротити водоспоживання тільки за рахунок зміни маршруту руху деталей.

Перелічений список операцій, для яких рекомендуються змінені послідовності промивних операцій, не є вичерпним – можливі й інші варіанти.

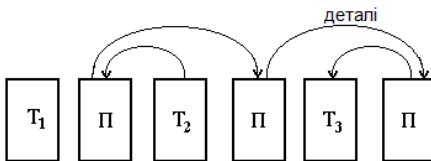


а) Додаткове промивання деталей у промивній ванні, яка встановлена перед технологічною ванною (Т2)



б) Додаткове промивання деталей у промивній ванні, яка встановлена після наступної технологічної ванни (Т3)

Рисунок 4.5 (початок) - Зміна послідовності промивних операцій



в) Додаткове промивання деталей у ваннах промивання після попередньої (Т1) та після наступної (Т3) технологічних ванн

Рисунок 4.5 (закінчення) - Зміна послідовності промивних операцій

Т1 – попередня ванна; Т2 – технологічна ванна (Т2), яка розглядається; Т3 – наступні технологічні ванни; П – ванни промивання

Слід ще раз відзначити, що найбільший ефект щодо скорочення витрат води на промивання за рахунок зміни послідовності промивних операцій досягається тоді, коли після даної технологічної ванни встановлено одинарне промивання. Та оскільки зі зміною послідовності промивання відбувається змішування компонентів кількох технологічних ванн в одній промивній воді, то необхідно враховувати наступні обмеження:

- неприпустимо після обробки в ціаністих розчинах деталі промивати в ваннах промивання, які використовувалися після технологічних ванн із

кислими розчинами, і навпаки, в іншому випадку в атмосферу буде виділятися сильно токсична речовина - ціаністий водень;

- при роздільному знешкодженні кислотно-лужних стоків та стоків, які містять в собі хром, неприпустимо після обробки в хромових розчинах деталі промивати в ваннах промивання, які використовувалися після технологічних ванн, і які не містять сполуки шестивалентного хрому, і навпаки, в іншому випадку з'єднання шестивалентного хрому потраплять у кислотно-лужні стоки.

Слід запобігати погіршенню якості обробки поверхні через:

- роз'ятрування покриттів (наприклад, при додатковому промиванні деталей з цинковим покриттям у промивній ванні після активації за першим варіантом змін послідовності промивань може статися деяке підтравлювання цинкового покриття);

- контактне виділення металів (наприклад, якщо в лінії нанесення покриттів на деталі зі сталі та мідних сплавів після активації деталей з мідних сплавів і активації сталевих деталей додаткове промивання здійснюється в одній промивній ванні, то в ній на сталевих деталях буде відбуватися контактне виділення міді);

- осадження на поверхні деталей малорозчинних сполук (наприклад, при додатковому промиванні деталей після кислого активування у промивній ванні після лужного знежирення з високим вмістом силікатів за першим варіантом зміни послідовності промивань може призвести до появи на поверхні деталей плівки нерозчинної кремнієвої кислоти, яка буде перешкоджати подальшому нанесенню покриття).

Необхідно забезпечувати витримку деталей над ваннами для запобігання потрапляння крапель промивної води в технологічні розчини при перенесенні деталей над технологічними ваннами за другою і третьою схемами, оскільки за ними у ванні промивання після даної технологічної операції використовується більш забруднена промивна вода.

#### 4.2.5. Повторне використання промивної води

Промивна вода після основних технологічних операцій за рахунок зміни обв'язки трубопроводів може використовуватися вдруге у ваннах промивання після підготовчих операцій перед цими ж основними технологічними операціями за схемою, наведеною на рис. 4.6.

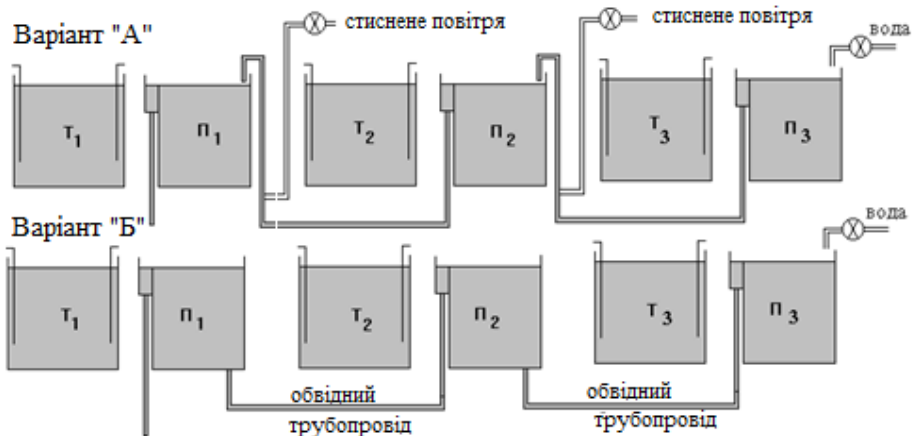


Рисунок 4.6 - Варіанти обв'язки ванн промивання для повторного використання промивної води

Т<sub>1</sub> і Т<sub>2</sub> – ванни підготовчих операцій; Т<sub>3</sub> – ванна основної операції нанесення покриття;  
П – ванни промивання: варіант «А» – перекачування промивної води за допомогою ерліфта, варіант «Б» – з'єднання промивних ванн за схемою сполучених посудин

Вода подається у ванну протокового промивання після основної ванни нанесення покриття Т<sub>3</sub> (цинкування, кадмування, міднення, нікелювання, олов'янування, нанесення сплавів олова, фосфатування, оксидування та анодування). Потім промивна вода послідовно проходить через ванни промивання після підготовчих операцій Т<sub>1</sub> і Т<sub>2</sub> (активації і знежирення або освітлення і травлення алюмінію), після чого скидається на очисні споруди. У цьому випадку загальна витрата води визначається споживанням води на промивання після операції нанесення покриттів.

Економія води для представленої на рис. 4.6 лінії з одинарними промиваннями становить суму витрат промивної води після знежирення і активації для нанесення гальванічних покриттів до  $700 \text{ л/м}^2$ , а після травлення і освітлення при анодуванні алюмінію – до  $1500 \text{ л/м}^2$ .

Перекачування промивної води здійснюється або за допомогою повітряних ерліфтів (див. рис. 4.6. варіант А), або об'єднанням ванн за схемою сполучених посудин (рис. 4.6. варіант Б).

Впровадження повторного використання води вимагає лише незначних робіт зі зміни обв'язки трубопроводів на ваннах промивання, але дозволяє знизити витрату води на окремих лініях покриття в 2-4 рази в залежності від кількості і типу об'єднаних ванн промивання.

Наприклад, для представленої на рис. 4.7 гальванічної лінії нікелювання загальна витрата води при об'єднанні ванн промивання дорівнює витраті води на промивання після операції нікелювання, у якій питома витрата води максимальна і становить  $\sim 420 \text{ л/м}^2$ .

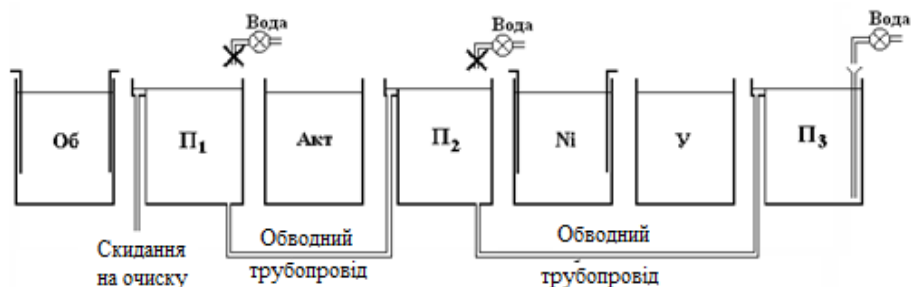


Рисунок 4.7 - Схема багаторазового використання промивної води в гальванічній лінії нікелювання

Об – ванна електрохімічного знежирення; Акт – ванна активації;  
Ні – ванна нікелювання; У – ванна уловлювання; П – ванни промивання

Без об'єднання ванн промивання загальна для всієї лінії питома витрата води складала би  $770 \text{ л/м}^2$ . На практиці, коли в усі промивні ванни вода летить однаково і без регулювання, у 3 рази скорочуються витрати води: з

трьох водопровідних кранів закриваються два. При цьому потрібне проведення лише незначних робіт зі зміни об'язки трубопроводів на ваннах промивання. Представлені на рис. 4.6 і 4.7 схеми багаторазового використання промивної води – не що інше, як схеми часткового водообороту: вода, використана в одній промивній ванні, без очищення направляється на промивання в іншу ванну і далі в третю. Отже вода використовується всього три рази, але зате без будь-якого очищення і без підживлення, що потрібно для класичного водообороту.

Застосування схеми багаторазового використання промивної води (як і у випадку зміни послідовності промивних операцій) вимагає враховувати обмеження, аналогічні обмеженням для зміни послідовності промивних операцій, не можна змішувати несумісні розчини або ті, які призводять до виникнення браку деталей.

#### **4.2.6. Досвід з аналізу споживання води на виробництві та розробки пропозицій зі скорочення водоспоживання**

В якості прикладу може бути наведено одне з українських підприємств, основною продукцією якого є запірно-пломбувальні пристрої. Гальванічний цех підприємства споживає за рік 1900 м<sup>3</sup> води. В цеху здійснюється нанесення антикорозійного покриття електрохімічним способом. На вироби наноситься цинкове покриття товщиною 6 мкм. Оброблення проводиться у розчині для «блакитної» пасивації – хромування для надання додаткової стійкості до корозії й покращення зовнішнього вигляду.

До основних процесів нанесення гальванічного покриття відносяться:

- знежирення в лужному розчині при температурі 50-70 °С;
- промивання у гарячій воді;
- двоступеневе протокове протитечійне промивання у холодній воді;
- травлення в концентрованій соляній кислоті для видалення окалини, продуктів корозії;
- активація у розведеної соляній кислоті;
- двоступеневе протокове протитечійне промивання у холодній воді;

- цинкування; застосовується процес цинкатоного цинкування (цинк електрохімічно осаджується з лужного розчину оксиду цинку). Цей спосіб на сьогоднішній день є найбільш екологічно безпечним способом нанесення цинкового покриття й широко використовується замість аміачного або ціанідного цинкування;

- занурення у ванну вловлювання;
- двоступеневе протокове протитечійне промивання у холодній воді;
- освітлення в розведеному розчині азотної кислоти;
- 2-х ступінчата проточна промивка протитечією у холодній воді;
- двоступеневе протокове протитечійне промивання у холодній воді;
- хромування – занурення на 30 секунд у розчин безбарвної пасивації;
- двоступеневе протокове протитечійне промивання у холодній воді;
- чистове промивання у гарячій дистильованій воді, щоб уникнути плям солей на виробах після висушування.

Кислі та лужні стоки взаємно нейтралізуються, підкислена промивна вода використовується для миття підлоги, на яку потрапляють лужні розчини з ванн знежирення й цинкування.

Промивна вода після протокового промивання, будучи не надто забрудненою, збирається в баку ємністю 30 м<sup>3</sup>, куди також збирається злизова вода з даху. Ця вода використовується для розведення не дуже добре очищених більш концентрованих стоків ванн цинкування та ванни вловлювання. Тобто, схема водопостачання в цеху – відкрита.

Безпосередні вимірювання і розрахунки показали, що 60 % води витрачається на протокове каскадне промивання деталей у процесі нанесення цинкового покриття та ще майже 30 % використовується для охолодження дистильатора. Значна частина води (7 м<sup>3</sup>) втрачається при випаровуванні, оскільки ванни знежирення, цинкування та промивання відкриті. З наведеного прикладу видно, що підприємство використовує ресурсоефективні методи гальванізації. Але проведене за методикою обстеження дало можливість знайти і запропонувати додаткові заходи.

Для підвищення використання ресурсів у гальванічному цеху було запропоновано наступне:

1. Змінити точку подавання води у ванни каскадного промивання (подовжити трубку, так щоб вода подавалася близько до дна ванни). На

момент проведення обстеження введення води здійснювалось близько до поверхні, що погіршувало перемішування нижніх і верхніх шарів на першому ступені каскаду.

2. Встановити на трубопроводах подачі води на каскадне промивання нові ротаметри, розраховані на меншу витрату води (існуючі ротаметри витрат води промивних ванн були розраховані на значно більші її витрати, що унеможливило точно виставляти їхній необхідний рівень). Це надало можливість більш точно контролювати витрату води на проточну промивку, не задавати надлишковий потік і, в сукупності з рекомендацією п. 1, скоротити витрати промивної води приблизно на 20 %.

3. Перевантажувати вироби з барабанів для цинкування у перфоровані відра, попередньо розмістивши останні в спеціальну ємність, в яку з поверхні виробів стече основна кількість електроліту цинкування. Цей розчин можна відразу ж повернути у ванну цинкування.

4. Організувати повернення води з ванни вловлювання у ванни цинкування. Для цього її потрібно відфільтрувати і використати як основу для приготування розчину для поповнення втрат у ваннах цинкування. При цьому не тільки поповнюються втрати електроліту при його природному винесенні з деталями та при випаровуванні, але й повертається у виробництво близько 2/3 цинку, що потрапляє у ванну вловлювання.

5. На рис. 4.8 а та 4.8 б наведено діаграми потоків цинку на підприємстві, яке обстежувалося, до та після виконання рекомендацій.

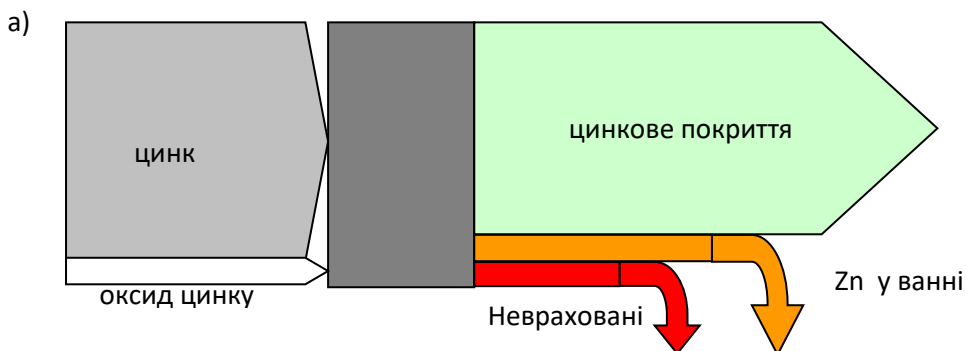


Рисунок 4.8 а - Діаграма потоків цинку – поточний стан

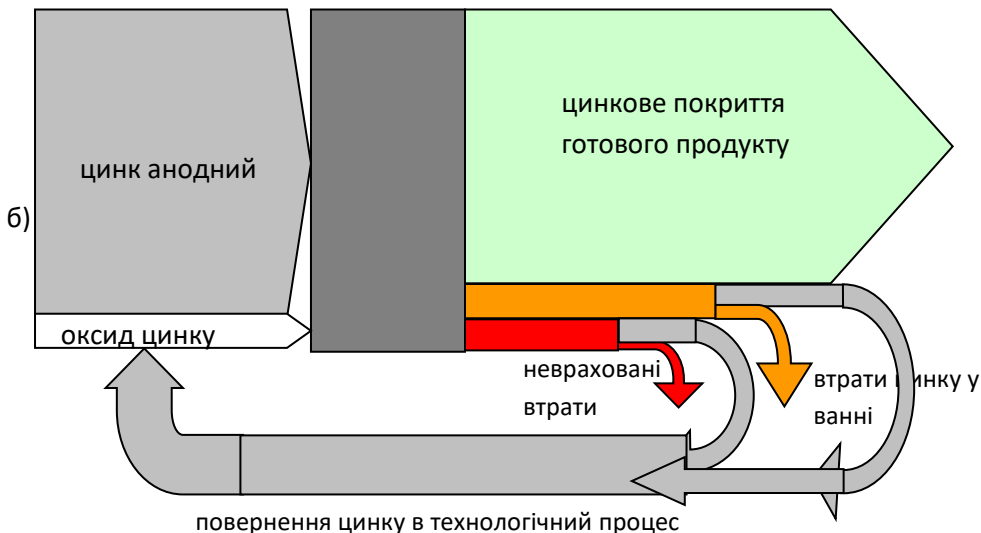


Рисунок 4.8 б - Діаграма потоків цинку – після виконання рекомендацій (б).

## 5. ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ЗАГОТІВЕЛЬНИХ ВИРОБНИЦТВ

### 5.1. Методи отримання заготовок

Деталі машин виготовляються або з напівфабрикатів, отриманих різкою сортового прокату різної форми (круга, шестигранника, листа і т.п.) або із заготовок отриманих литтям, обробкою тиском, пресуванням, куванням тощо.

Заготовка відрізняється від деталі тим, що її поверхні або частина поверхонь мають інші розміри (в бік збільшення або зменшення від номінального розміру) і іншу форму (часто в бік спрощення). У деяких заготівельних процесах можуть бути отримані заготовки без подальшої механічної обробки (наприклад, болти, гвинти, пальці, осі тощо).

На рис. 5.1. показано різні методи отримання заготовок. Цей перелік не є вичерпним, але це ті методи, які найчастіше можна бачити на машинобудівних підприємствах. Усередині кожного методу є види, з відповідною характеристикою за точністю, параметрами шорсткості та іншими показниками.

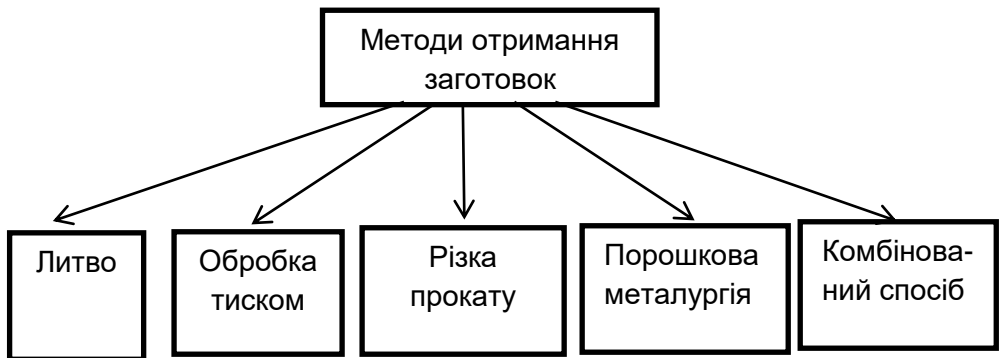


Рисунок 5.1 - Методи отримання заготовок машинобудівних підприємств

Кожний з цих методів має свої способи. Ми будемо розглядати тільки найбільш поширені у машинобудуванні.

## 5.2. Литво

Застосування литих заготовок обумовлено наступними перевагами даного методу, порівнюючи з куванням або штампуванням:

- отримання заготовок практично будь-якої форми, розмірів і маси;
- зниження обсягу механічного оброблення при наступних операціях виготовлення деталей;
- виготовлення заготовок, за винятком деяких способів, з високим коефіцієнтом використання матеріалів;
- виготовлення заготовок зі сплавів, які не піддаються пластичному деформуванню та з важко оброблюваних матеріалів.

Основними методами лиття є:

- лиття у піщано-глинисті форми (ЛПФ);
- лиття в оболонкові форми (ЛОФ);
- лиття за моделями, що витоплюють (лиття за витоплюваними моделями) (ЛВМ);
- лиття за моделями, що газифікуються;
- лиття у кокіль (ЛК);

- лиття під тиском (ЛПТ);
- відцентрове лиття (ВЛ).

При виборі способу лиття необхідно враховувати якість металу у відливках. Найбільш якісний метал отримується при відцентровому та литті у кокіль. Також при виборі способу виготовлення заготовок необхідно враховувати технологічність конструкції деталі стосовно кожного способу до розгляду. Технологічні можливості деяких способів лиття наведено у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Технологічні характеристики/можливості різних способів лиття

Показник		Спосіб литва					
		ЛПФ	ЛОФ	ЛВМ	ЛК	ЛПТ	ВЛ
Матеріал відливків		Сталь, чавун, кольорові сплави		Сталь, чавун, кольорові та спеціальні сплави (крім алюмінію)	Сталь, чавун, кольорові сплави	Кольорові сплави	Сталь, чавун, кольорові сплави
1		2	3	4	5	6	7
Максимальна маса відливка, кг		200000	150		7000-чавун, 4000-сталь, 500-кольорові сплави	100	600
Товщина стінок, мм	min	3,0	2,0	0,5	3,0	0,5	2,0
	max	Необмежена	12,0	6,0	100,0	6,0	410,0
Максимальний розмір відливка, мм		Необмежений	1500	1000	2000	1200	6000
Клас розмірної точності		6-14	4-11	3-8	4-11	3-7	6-15

Продовження табл. 5.1

1	2	3	4	5	6	7
Шорсткість поверхні, мкм	320-80	160-40	80-20	160-40	40-10	320-80
Група складності	1-6	1-5		1-4	1-5	1-4
Коефіцієнт використання металу, %	60-70	80-95	90-95	75-80	90-95	70-90
Відносна собівартість 1 т відливків	1,0	1,5-2,0	2,5-3,0	1,2-1,5	1,8-2,0	0,6-0,7
Економічно виправдана серійність, шт/рік	Необмежена	200-500	1000	400-800	1000	100-1000

Важливим показником при виборі способу лиття також є вартість виливків. Вартість литих деталей визначають не тільки технологічним процесом їх виготовлення, а й вартістю металу та інших матеріалів. Особливо це помітно при використанні дорогих ливарних сплавів – легованих сталей, бронзи, титанових сплавів, алюмінієвих сплавів та ін. Тому при виборі способу лиття для отримання заготовки передусім потрібно розглянути питання раціонального використання металу. В таблиці 5.1 наведено різні значення коефіцієнту використання металу. Для різних способів лиття він складає від 60 % до 95 %. Нижче проаналізовано особливості найбільш розповсюджених способів литва.

### 5.2.1. Лиття у піщані форми

Лиття у піщано-глинисті форми є порівняно простим і економічним технологічним процесом. Використовується в багатьох галузях машинобудування (автомобілебудування, верстатобудування,

вагонобудування і ін.) Цей метод найчастіше застосовується при масовому виробництві виливків. Його технологічні можливості:

- переважно в якості матеріалу виливків використовуються чавуни різних марок та низьковуглецеві сталі. Чавун має хорошу (майже найбільшу) рідкотекучість і малу усадку (близько 1%). Низьковуглецеві сталі (<0,35% C) мають гіршу рідкотекучість та більшу усадку (до 2%). Обмежено виробляються таким способом вилівки з мідних і алюмінієвих сплавів. Це пов'язано з можливістю потрапляння в метал неметалевих включень, підвищеної схильності до утворення газової пірватості:

- форма виливків може бути досить складною, але все-таки обмежена необхідністю вилучення моделі з форми;

- розміри виливки теоретично необмежені. Таким способом виготовляють найбільші вилівки (до сотні тонн). Це станини верстатів, корпуси турбін і т. п.;

- точність виливків зазвичай нижче 14 квалітету і визначається спеціальними нормами точності;

- шорсткість поверхні виливків перевищує 0,3 мм, на поверхні допускається наявність раковин і неметалевих включень. Тому поверхні заготовок деталей, що сполучаються, завжди обробляють різанням.

### **5.2.2. Лиття в оболонкові форми**

Лиття в оболонкові форми з'явилося як спроба автоматизувати виготовлення форм, що руйнуються. На нагріту модель, виконану з металу, насипається суміш формувального піску з частинками неpolімеризованого терморективного матеріалу (терморективної смоли). Витримавши певний час цю суміш на поверхні нагрітої моделі, утворюється шар суміші, в якому відбувається полімеризація смоли з формування твердої кірки (оболонки) на поверхні моделі. Отримані таким чином оболонки склеюють між собою силікатним клеєм, встановлюють в опоках і засипають піском для забезпечення міцності при заливанні металу. Також отримують керамічні стрижні для формування внутрішніх порожнин виливків.

Лиття в оболонкові форми проти литва у піщано-глинисті форми має істотну перевагу – простоту автоматизації отримання форм. Але треба зазначити, що литтям в оболонкові форми неможливо отримувати великогабаритні виливки і вироби особливо складної форми.

### **5.2.3. Литття у моделі, що витоплюють**

Процес, у якому для виготовлення виливків застосовуються разові точні нероз'ємні керамічні оболонкові форми, які можна отримати за рахунок використання разових моделей та рідких формувальних сумішей.

Лиття у моделі, що витоплюють, забезпечує виготовлення складних за формою виливків масою від кількох грамів до десятків кілограм, зі стінками товщиною від 0,5 мм і більше, з поверхнею, яка відповідає 2-5-му класам точності (ГОСТ 26645-85), і з високою точністю розмірів, порівнюючи з іншими способами лиття.

За моделями, що витоплюють, відливають: лопатки турбін, ріжучий інструмент (фрези, свердла), кронштейни, карабіни, дрібні деталі автомобілів, тракторів.

Застосування точного лиття доцільно для виготовлення деталей:

- зі сталі і сплавів, які важко піддаються або не піддаються механічному обробленню;
- складної конфігурації, що вимагає тривалого і складного механічного оброблення, велику кількість спеціальних ріжучих інструментів, з неминучою втратою цінного металу у вигляді стружки при обробленні (турбіни лопатки, частини механізму швейних машин і т. п.);
- художньої виливки з чорних і кольорових сплавів.

#### **5.2.4. Лиття у кокіль**

Кокіль – металева форма з природним або примусовим охолодженням, що заповнюється розплавленим металом під дією гравітаційних сил. Після кристалізації і охолодження, кокіль розкривається і з нього видаляється вилівок. Потім кокіль можна повторно використовувати для відливання наступної деталі.

Даний метод широко застосовується у серійному, багатосерійному і масовому виробництвах.

Точність виливків з кольорових металів зазвичай відповідає 5-9 класу, для виливків з кольорових металів – 7-11 класу (ГОСТ 26645-85).

Лиття у кокіль обмежене можливістю виготовлення великогабаритних кокілів і зазвичай маса виливків не перевищує 250 кг.

У такий спосіб виготовляється широка гамма виробів для всіх галузей промисловості (деталі двигунів, заготовки вінців зубчастих коліс, корпусних деталей і т. п.).

Марки виплавлюваних металів:

- алюмінієві сплави;
- магнієві сплави;
- мідні сплави;
- чавуни;
- сталі.

#### **5.2.5. Лиття під тиском**

Принцип процесу лиття під тиском полягає у примусовому заповненні робочої порожнини металевої прес-форми розплавом і формуванні виливки під дією сил від прес-поршня, що переміщується в камері пресування, заповненої розплавом.

Спосіб забезпечує високу точність, клас 14 за ГОСТ 26645-85 (10 квалітет), низьку шорсткість поверхні (практично не вимагає обробки). Можливість виготовлення відливків значної площі з малою товщиною стінок (менше 1 мм).

Лиття під тиском є найбільш прогресивним способом виготовлення відливок з кольорових сплавів (цинкових, алюмінієвих, магнієвих, латунних), останнім часом широко використовується в точному приладобудуванні, автомобільній, тракторній, електротехнічній та інших галузях промисловості. Досить різноманітні конструктивні особливості виливків, які одержуються у формах лиття під тиском: від простих, як опорні плити, колосники, болванки і втулки, до складних – картерів двигунів, головок блоків циліндрів, ребристих корпусів електродвигунів і стоек пługів. Литтям під тиском виготовляють деталі з особливими властивостями: підвищеною герметичністю, зносостійкістю (наприклад, чавунні з поверхневим і місцевим вибіленням) тощо. Важливо підкреслити, що під тиском виробляють деталі різного, в тому числі, дуже відповідального призначення.

Лиття під тиском є раціональним тільки в серійному та масовому виробництві через труднощі виготовлення форми та її високу вартість.

#### **5.2.6. Відцентрове лиття**

Принцип відцентрового лиття полягає в тому, що заповнення форми розплавом і формування виливків відбуваються під дією відцентрових сил при обертанні форми або навколо горизонтальної, вертикальної або похилої вісі, або при її обертанні по складній траєкторії.

Технологія відцентрового лиття забезпечує цілий ряд переваг, часто недосяжних при інших способах, наприклад:

- висока зносостійкість;
- висока щільність металу;
- відсутність раковин;
- відсутність у продукції неметалевих включень і шлаку.

Відцентровим литтям отримують заготовки, які мають форму тіл обертання:

- втулки;
- вінці черв'ячних коліс;
- барабани машин для виробництва паперу;
- ротори електродвигунів;
- гільзи блоків циліндрів.

Найбільше застосування відцентрове литво знаходить при виготовленні втулок з мідних сплавів, переважно олов'янистих бронз.

У порівнянні з гравітаційним литтям відцентрове має ряд переваг: підвищуються заповнюваність форм, щільність і механічні властивості виливків. Однак для його організації необхідно спеціальне обладнання. Серед недоліків, які властиві цьому способу литва, слід відзначити наступні: неточність розмірів вільних поверхонь виливків, підвищена схильність до ліквідації компонентів сплаву, підвищені вимоги до міцності ливарних форм.

### **5.2.7. Ресурсоефективність у ливарному виробництві**

Для розуміння рівня ефективності використання ресурсів та потенціалу його покращення у ливарному виробництві необхідно орієнтуватися на дані ливарного виробництва країн Європи. Так, споживання металу на 1 тону придатного литва в Україні на 15-20 % більше ніж у Європі, споживання свіжого піску – більше в 2,5-3,5 рази, електроенергії – більше в 2-3 рази. Хоча потенціал ресурсозбереження є дуже суттєвим, до 50 % підвищення цього потенціалу може бути реалізованим за рахунок низьковитратних та організаційних заходів.

Одним із суттєвих чинників перевитрат ресурсів є брак виливків, який у 2-3 рази більший, ніж у Європі. Для покращення ситуації необхідно застосувати системний підхід до визначення причин виникнення браку та мінімізації їх впливу. Також необхідне безперервне покращення та удосконалення даних контролю за процесами.

Наступним чинником є втрати матеріалів при плавленні металу. Середній показник таких втрат у Європі не більше 3,2 %, тоді як в Україні він дорівнює 4,5 %. Покращити ситуацію можливо за рахунок:

- належної якості металу, що завантажується;
- правильної послідовності завантаження металу;
- матеріал сировини повинен бути сухим, не брудним, без мастил, іржі тощо;
- уникнення неметалургійного перегрівання та довгого часу витримки розплавленого металу, розплавляти та перегрівати метал до потрібної температури потрібно якомога швидше;
- приладового контролю за температурними режимами процесу;

- уникнення надмірної корекції між плавленням та випуском металу шляхом правильного регулювання складу металу на стадії його підготовки до завантаження;

- використання правильних вогнетривких матеріалів (футеровки печі). Якщо матеріал, що плавиться, та футеровка не відповідають один одному, то розплавлена маса буде вступати у хімічну реакцію з вогнетривким матеріалом, що приведе до утворення завищеної кількості шлаку, чаду та змішенню різнорідних матеріалів.

Також втрати матеріалів є під час процесу заливання металу. Якщо цей показник у Європі не перевищує 5 %, у нас він становить від 6 % і навіть до 9 %. Для зменшення втрат необхідно:

- виконувати заливку розплавленого металу тільки після проведення його аналізу на відповідність вимогам (інакше можливий брак виробів);
- виконувати вимірювання температури металу перед заливанням;
- забезпечити правильну температуру металу у ковші;
- завжди тримати запасну форму, яку можна використати у разі пошкодження робочої.

Що стосується питомих витрат електроенергії на 1 тону переплавленого металу, то в Європі цей показник становить від 550 до 800 кВт·год, а в Україні він сягає 1450 кВт·год і, навіть, 1550 кВт·год для дугових печей. Покращити ситуацію з використання електроенергії можливо за рахунок наступних заходів:

- уникнення витримки та обробки металу протягом тривалого часу у плавильній печі;
- переглянути процедуру плавки;
- використовувати індукційні печі з високим електричним ККД;
- використовувати сучасні теплоізоляційні та вогнетривкі матеріали для футерування печей;
- максимально термоізолювати зону плавлення від навколишнього середовища.

Для підвищення ефективності використання всіх ресурсів одним із важливих заходів є навчання робітників методам підвищення ефективності використання ресурсів.

### 5.3. Порошкова металургія

Основні джерела утворення металевих відходів в Україні – підприємства металургійного та машинобудівельного комплексів. Так, під час плавлення металу утворюється 650...700 кг твердих відходів – шлаків, шламів. Поряд з цим великий об'єм відходів утворюється на підприємствах металообробної промисловості – під час обробки на сучасних вертстатах утворюється до 100 кг стружки і шліфувальних шламів за годину. Шламіві відходи в більшості випадків ніде не використовуються і забруднюють довкілля, хоча є джерелом вторинних ресурсів. Шліфувальні шлами містять 65...70% металу у вигляді мікрочасток стружки. При цьому коефіцієнт використання металевих відходів є низьким і в середньому складає 20 %. У зв'язку з цим використання порошкових технологій, а саме отримання порошоків зі стружки і шламів інструментальних, легованих та конструкційних сталей, є одним із напрямків застосування ресурсозберігаючих технологій у машинобудівній галузі.

Технологія порошкової металургії дозволяє отримувати вироби як з одного металу, наприклад, заліза (такі вироби називають однокомпонентними), так і з суміші порошоків металів або металів з неметалами (багатокомпонентні вироби), причому в самих різних поєднаннях. За цією технологією можна отримати сплави (точніше, псевдосплави) з металів, які не утворюють розчинів, не змішуються в рідкому стані (залізо – свинець, вольфрам – мідь і ін.), а також металів з неметалами (мідь – графіт, алюміній – оксид алюмінію, карбід і ін.).

З порошкових матеріалів виготовляють і такі вироби, які технологічно можуть бути отримані і за допомогою інших методів – відливанням, штампуванням або обробкою різанням, проте порошкова металургія дає велику економію металу (коефіцієнт використання металу більше 0,9) і значне зниження собівартості деталей. Наприклад, при виготовленні деяких деталей методами лиття з наступною механічною обробкою відходи металу становлять до 40 %, а при отриманні такої деталі методами порошкової металургії відходи металу можуть становити 2-5 %. Однак виготовлення деталей методами порошкової металургії економічно виправдано тільки при масовому виробництві внаслідок високої вартості прес-форм та устаткування.

На рис. 5.2 наведено зовнішній вигляд типових деталей, які були виготовлені методом порошкової металургії.

Для виготовлення виробів з матеріалів, які погано спікаються, наприклад, з тугоплавких сполук, процеси пресування і спікання поєднують в одну операцію. У цьому випадку застосовують тиск в 5-8 разів нижче, ніж при холодному пресуванні.

Матеріали, які отримуються методом порошкової металургії, підрозділяються на конструкційні порошкові матеріали загального призначення, які замінують звичайні вуглецеві і леговані сталі, чавуни і кольорові метали, і матеріали, що володіють спеціальними властивостями: високою зносостійкістю, жароміцністю, твердістю, корозійною стійкістю, особливими магнітними і електричними характеристиками.



Рисунок 5.2 - Типові деталі, виготовлені методом порошкової металургії

Залежно від структури порошкові матеріали поділяються на поруваті та щільні. Звичайні поруваті матеріали отримують шляхом холодного пресування і спікання, щільні матеріали – шляхом холодного пресування і спікання з додатковим гарячим обробленням тиском (гарячим

штампуванням, гарячим пресуванням та ін. видами термічного і хіміко-термічного оброблення).

Конструкційні деталі, виготовлені за технологією порошкової металургії, є найбільш поширеним видом її продукції. Оскільки при їх отриманні практично повністю відсутні відходи, то вони мають мінімальну вартість і трудомісткість. Вироби, отримані порошковою металургією, відрізняються від литих або оброблених тиском металів і сплавів того ж складу відсутністю усадкових раковин, тріщин та ін. дефектів.

Порошкові конструкційні матеріали застосовують для виготовлення деталей машин і приладів, у тому числі з них виготовляють шестерні, кулачки, поршневі кільця, диски, втулки тощо. При цьому скорочується обсяг механічного оброблення, знижується трудомісткість, підвищується коефіцієнт використання металу.

Порошкові металокерамічні тверді сплави застосовують у вигляді пластинок до ріжучого інструменту і інструменту для бурів при бурінні гірських порід, а також для виготовлення філь'єр (волок), що застосовуються під час волочіння. Деякі дрібні ріжучі інструменти (свердла, розгортки, фрези) виготовляють цілком з твердих сплавів.

Металокерамічні тверді сплави відрізняються високою твердістю (82-92 HRA) і здатні зберігати ріжучу здатність до температур 1000-1100 °С. Основною складовою таких сплавів є карбіди вольфраму, титану, танталу. В якості сполучного застосовують кобальт.

Порошкові антифрикційні матеріали застосовують для виготовлення підшипників ковзання поряд з литими сплавами типу бабітів, бронз і т.д. Їх отримують з порошків як чорних, так і кольорових металів. Змінюючи режими пресування і спікання, можна отримати матеріали різного ступеня поруватості.

Антифрикційні порошкові матеріали характеризуються низьким коефіцієнтом тертя, мають гарну зносостійкість, здатність витримувати значні навантаження. Вони мають ряд переваг у порівнянні зі звичайними антифрикційними матеріалами. Їх зносостійкість в кілька разів вища, ніж у бронз і бабітів. Вони працюють при більших швидкостях і навантаженнях.

Композиційні антифрикційні порошкові матеріали можуть мати рівномірно розподілені включення з речовин, що грають роль твердого змащення. До них відносяться графіт, сульфід, пластмаси та деякі інші сполуки. Вони мають порівняно низький коефіцієнт тертя при роботі без

рідкого мастила (в режимі сухого тертя). Поєднання підвищених антифрикційних властивостей твердих змащувальних матеріалів і пластмас з властивостями металів дозволяють отримувати матеріали, здатні працювати у воді, агресивних рідинах, бензині, різних газових середовищах, у вакуумі, а також в умовах високих і низьких температур. Найбільш широко використовуються пористі порошокві залізни, залізографітні (2 % вуглецю) і бронзографітні (87 % міді, 10 % олова, 3 % вуглецю) підшипники.

Фрикційні матеріали застосовують для гальмівних пристроїв. Ці матеріали, поряд з високим коефіцієнтом тертя, повинні володіти зносостійкістю, високою теплопровідністю. Таким вимогам задовольняють лише порошокві матеріали, що представляють собою складні за хімічним складом композиції на основі заліза і міді. Фрикційні матеріали відрізняються невисокою міцністю, і тому тонкий шар матеріалу з'єднують (найчастіше спіканням під тиском) зі сталеву основу (диском, стрічкою).

З поруватих матеріалів (з пористістю не менше 40-50 %, ) виготовляють фільтри для очищення рідин і газів від твердих домішок. Як матеріали для виготовлення фільтрів використовують порошки заліза, бронзи, латуні, нікелю та ін. Їх застосовують для очищення повітря від пилу, водяного і оливного туману, очищення дизельного палива, для захисту гідросистем і трубопроводів і т.д. Застосування порошоквих поруватих матеріалів дозволяє збільшити термін служби насосів, двигунів і інших агрегатів, що працюють на очищених рідинах.

Заготовки, які одержують холодним пресуванням з наступним спіканням, зазвичай повинні відповідати наступним вимогам:

- поперечний переріз 50 ... 6000 мм<sup>2</sup>;
- висота 2 ... 60 мм;
- маса не більше 5 ... 10 кг;
- відношення довжини до діаметру не більше 2,5 ... 3;
- гострі кути і грані повинні бути закруглені радіусом не менше 0,13 мм;
- шорсткість поверхні некаліброваних деталей Ra 2,5 ... 0,63 мкм, каліброваних – Ra 0,32 ... 0,08 мкм.

Точність виготовлення порошоквих заготовок залежить від точності преса, прес-форм, стабільності пружних післядій при холодному пресуванні, об'ємних змін при спіканні і т.д.

Методи порошкової металургії дозволяють економити трудові та матеріальні ресурси при виготовленні і експлуатації машин. Економічна ефективність виробництва порошкових заготовок тим вища, чим більшою є їхня серійність. Тому така технологія доцільна тільки при річній програмі випуску в кілька десятків тисяч штук.

Коефіцієнт використання металу при виготовленні порошкових деталей може досягати 100 %. Вироби з композиційних матеріалів, що виготовлюють методом порошкової металургії, мають високі експлуатаційні характеристики. Наприклад, антифрикційні спечені заготовки широко використовують для виготовлення деталей вузлів тертя (підшипників ковзання, кілець, торцевих ущільнень, шайб і ін.), різних механізмів і машин. Введення до складу антифрикційних порошоків, що грають роль твердого змащення і підвищують характеристики міцності виробу, а також наявність в матеріалі підшипника поруватості, просоченої мастильними рідинами, збільшує термін служби деталей в 1,5 і більше разів.

Метод порошкової металургії дозволяє максимально економити трудові і матеріальні ресурси при випуску виробів конструкційного призначення. Деталі з порошкових матеріалів в середньому мають на 5-15 % меншу густину, ніж ті, які отримані в процесі лиття. Це дозволяє знизити витрату матеріалу та зменшити масу виробу. У ряді випадків порошкові конструкційні матеріали за своїми унікальними властивостями не мають аналогів і дозволяють забезпечувати випуск якісно нової продукції.

Застосування порошкових конструкційних матеріалів дає значну економію в сфері експлуатації, забезпечуючи високі експлуатаційні властивості виробів.

Для отримання 1 т кінцевого продукту методом порошкової металургії потрібно 3200-3500 кВт/год енергії, тоді як під час виготовлення 1 т сталі (без урахування витрат на переробку первинної чи вторинної сировини) витрачається 3600-5900 кВт/год.

Гаряче ізостатичне пресування також є однією з частин металургії гранул. Компактні заготовки з металевих гранул заданого хімічного складу застосовують як готові вироби після проведення термічної і механічної обробки, так і заготовки під наступну штамповку, кування, пресування та прокату.

Застосування гранульної технології замість традиційної штамповки дозволяє скоротити витрату металу в 2-3 рази, знизити трудомісткість

виготовлення виробів на 50-70 % і застосувати нові низьколеговані сплави з високими службовими характеристиками, які не можуть бути виготовлені традиційними способами.

Гаряче ізостатичне пресування використовується для виготовлення деталей, відповідального призначення, з нікелю та титанових сплавів із забезпеченням високих механічних характеристик.

Сьогодні порошкова металургія займає свою нішу в заготівельному виробництві машинобудування. У таблиці 5.2 наведено порівняльний аналіз деяких показників порошкової металургії та лиття.

Таблиця 5.2 - Порівняння потенційних можливостей і обмежень методів порошкової металургії та лиття

<b>Критерії порівняння</b>	<b>Порошкова металургія</b>	<b>Лиття (прецизійне та під тиском)</b>
Коефіцієнт використання матеріалів, %	98-100	90-95
Маса виробів, кг	0,1-10	0,1-100
Формування	Відносно просте: висота виробів зазвичай менше довжини і ширини	Відносно складне: висота, довжина та ширина не обмежені в межах розмірів виробів
Серійність виробів при рентабельному виробництві, тис. шт.	>1000	>1000
Чистота хімічного складу матеріалу	Дуже чистий	Можливе потрапляння домішок матеріалу форми
Однорідність	Дуже хороша	Середня
Шорсткість, мкм	1-50	Зазвичай 10-30, іноді 2

Метод порошкової металургії є потужним резервом підвищення ефективності машинобудівного виробництва. За існуючими даними, на кожні 1000 т виготовлених таким методом деталей заощаджуватися 1500-

2000 т металу, вивільняється понад 60 металорізальних верстатів зі зниженням трудомісткості на 120 тис. нормо-годин, продуктивність праці зростає у понад 1,5 рази.

#### 5.4. Теплове різання

Теплове різання металів широко застосовується у виробничих процесах машинобудівної галузі. На малих і середніх підприємствах найбільшого поширення набули установки лазерного та плазмового різання. Здебільшого після заготівельної дільниці заготовки направляються для подальшого кінцевого оброблення деталей. Чим якісніше буде виконана заготовка (ближче до форми та розмірів деталі), тим менше буде витрат ресурсів на доведення її до кінцевого продукту. У зв'язку з цим об'єктивно оцінено переваги кожного із способів різання заготовок на підставі порівняння їх показників.

При лазерному різанні використовується дуже сфокусований лазерний промінь (рис. 5.3.).

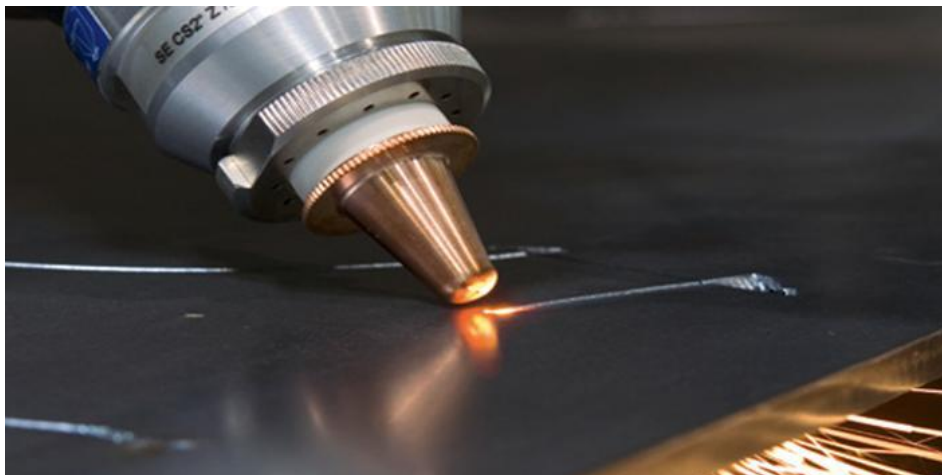


Рисунок 5.3 - Лазерний промінь у процесі різання металу

Плазмове різання полягає у проплавленні металу за рахунок теплоти, що генерується стиснутою плазмовою дугою (рис. 5.4.).

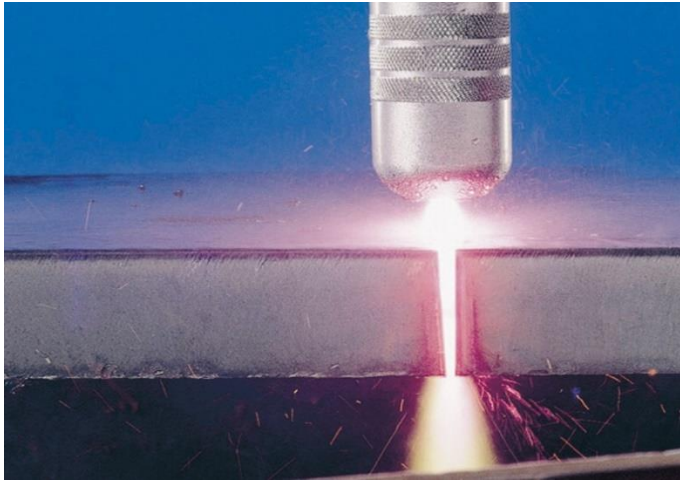


Рисунок 5.4 - Плазмова дуга в процесі різання металу

Кожен із цих способів не є універсальним і має свої переваги та недоліки. Порівняння цих двох методів різання можна виконати за різними параметрами – продуктивності, спожитої потужності, металовтратами.

Якщо розглядати продуктивність, то слід відзначити, що під час різання деталей з тонколистового металу (до 2...3 мм) з великою кількістю отворів, пазів та ін. найбільш ефективним є потужний високошвидкісний лазер. Однак на товщинах понад 6 мм плазма починає вигравати за швидкістю різання, а при товщині листа 20 мм і більше – плазмове різання поза конкуренцією.

При однаковій споживаній потужності установок плазмове різання більше за продуктивністю за лазерне в 2..3 рази – при виготовленні простих деталей. При цьому великі партії однотипних складних деталей з тонкого металу все ж таки доцільніше виготовляти за допомогою лазерного різання, оскільки вирізані деталі можуть бути застосовані до наступних технологічних операцій без додаткового оброблення.

Щодо якості зрізу, то вимоги до нього визначаються специфікою конкретного виробництва. Наприклад, для приварного фланця робочою поверхнею виступає безпосередньо площина фланця. Відповідно,

шорсткість, конусність та перепал кромки суттєво не впливають на кінцеву якість виробу. Навпаки, для зірочки ланцюгового приводу чистота поверхні, відсутність термічних деформацій та точність профілю зубів є першочерговими вимогами, і дуже часто лазерне різання забезпечує вирішення подібних задач. У таблиці 5.3 наведено основні відмінності якості між лазерним та плазмовим різанням.

Таблиця 5.3: Порівняння якості різі лазерного та плазмового різання

<b>Показник якості</b>	<b>Лазерне різання</b>	<b>Плазмове різання</b>
Ширина лінії розрізу, мм	<0,4	0,7...3,5*
Конусність кромки	0...2°	0...10°
Шорсткість поверхні, мкм	1,25...2,5	6,3...12,5
Окалина	мінімально	відсутня
Оплавлення врізок, кутів	мінімально	присутнє
Наявність припалів	На спостерігається	невеликі, по краю кромки ззовні

\*При товщині металу до 15 мм

Якщо проаналізувати, яким чином наведені в Таблиці 5.3 дані впливають на втрати металу в процесі різання, то можна отримати наступні результати. Ширина лінії розрізу напряму впливає на ту відстань, на якій одна від іншої будуть розміщені заготовки майбутніх деталей: чим більша товщина лінії, тим більша відстань. Та товщина металу, яка дорівнює товщині лінії розрізу в залежності від типу різки автоматично буде втрачена без повернення. У вигляді металобрухту залишається та частина металу, яка не увійшла до складу деталей. Отже, чим більша ширина лінії розрізу, тим більша кількість металу буде залишатися у вигляді металобрухту. І при однаковій початковій площі листа металу при плазмовому різанні можна отримати меншу кількість деталей та більше металобрухту, що не є раціональним.

Конусність кромки також негативно впливає на втрати металу при різанні. Її величина при плазмовій різці в 5 разів більша ніж при лазерному. Після закінчення процесу різання, як правило, необхідно позбутись конусності (привести її значення до 0°) за рахунок додаткових операцій. Це в свою чергу також призводить до втрати відповідної кількості металу. Приблизно оцінити ці втрати дозволяє простий розрахунок. В якості прикладу взято лист металу товщиною 5 мм.

Величина конусності розрізу при використанні лазерного різання становить  $1^\circ$ , а при використанні плазмового –  $5^\circ$ . В результаті подальшої обробки виробу з метою уникнення конусності в першому випадку втрачається  $0,87 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$  металу, а в другому –  $4,37 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ . Отже, різниця між втратами металу при використанні плазмового різання у 5 разів більша ніж при лазерній.

Наявність шорсткості також впливає на необхідність подальшого шліфування і на величину втрати металу в процесі цієї операції. Середня величина шорсткості при лазерному різанні становить  $1,9 \text{ мкм}$ , а при плазмовому –  $6,4 \text{ мкм}$ . Різниця очевидна.

Позитивним фактором використання плазмового різання є відсутність окалини. Але її кількість в процесі різання лазером незначна і, як наслідок, цей факт не може бути визначальним при виборі типу різання.

Лазерна установка є незамінною при різанні малих за розміром та точних деталей.

Для правильного вибору на користь того чи іншого способу різання необхідно провести глибокий аналіз задач і можливостей конкретного виробництва. Потрібно вивчити можливість впровадження способу в існуючі технологічні процеси або перебудувати ці процеси, забезпечуючи найбільш оптимальне і ефективне використання лазерного або плазмового різання. При проведенні такого аналізу треба обов'язково враховувати ефективність використання ресурсів, як складової економічного розрахунку процесу.

## 5.5. Обробка тиском

У сучасному машинобудуванні одним із основних методів виготовлення заготовок з металевих матеріалів є обробка тиском. Обробка тиском дозволяє в процесі пластичної деформації надавати заготовкам не тільки задану форму, але й змінювати внутрішню структуру металу. Основними процесами методу обробки металу тиском є кування та штампування (гаряче та холодне). Обробці тиском можуть піддаватися, як правило, ті метали та сплави, які мають запас пластичності. Для виготовлення заготовок методом обробки тиском використовуються вуглецеві та леговані конструкційні сталі, високолеговані та корозійностійкі сталі, жаростійкі сталі, алюмінієві, магнієві, мідні, титанові сплави.

Наразі відомо сотні способів виготовлення заготовок обробкою металів тиском. Нижче розглянуто тільки найбільш поширені на підприємствах машинобудівної галузі.

### **5.5.1. Спосіб виготовлення заготовок куванням металів**

Куванням називається спосіб обробки металу тиском, при якому вихідній заготовці надають необхідну форму за допомогою універсального інструменту, не обмежуючи течію металу в площині перпендикулярній напрямку дії сили. Куванням досягаються дві основні мети: заготовці надається форма близька до форми готового виробу, покращуються механічні властивості матеріалу заготовки.

Кування поділяють на ручне та машинне. Для ручного кування використовують кувалди та ковадло.

Кування є одним з економічних способів отримання заготовок. Воно має ряд переваг перед іншими видами обробки:

- можливість виготовлення великогабаритних поковок масою до 250 тон і більше;
- застосування універсального обладнання та універсального інструменту дозволяє отримати поковки широкого асортименту;
- у процесі кування значно покращується якість металу поковок, підвищуються його механічні властивості.

Недоліками цього способу є:

- низька продуктивність у порівнянні з продуктивністю гарячої об'ємної штамповки;
- необхідність призначення великих напусків, припусків та допусків на поковках, і, як наслідок, велику наступну обробку різанням;
- обмеження можливості отримання виробу складної форми без напусків;
- значні відходи металу.

### **5.5.2. Гаряча об'ємна штамповка**

Цей спосіб широко розповсюджений для отримання якісних заготовок. Гарячою об'ємною штамповкою виготовляють заготовки для відповідальних деталей двигунів літаків, автомобілів, верстатів і т. п. Цей спосіб найбільш ефективний при масовому, великосерійному і серійному виробництві деталей масою від декількох грамів до декількох тон. Найбільш доцільно виготовлення штамповок масою до 50-100 кг.

У порівнянні з куванням гаряча об'ємна штамповка має наступні переваги:

- штамповки мають більш складну форму та кращу якість поверхні;
- штамповки мають припуски і допуски, що можна порівняти з класами точності, які отримують при обробці різанням (за звичай механічній обробці піддаються тільки поверхні, що сполучаються);
- значно підвищується продуктивність праці.

До недоліків гарячої об'ємної штамповки відносяться:

- обмеження штамповок за масою;
- відходи металу на задири;
- необхідність додавати більших зусиль деформування по відношенню до кування;
- необхідність індивідуального штампу (більш складного та коштовного у порівнянні з універсальним інструментом для кування).

### **5.5.3. Штамповка на гідравлічних пресах**

Гідравлічні преси застосовують при штамповці:

- великогабаритних заготовок (наприклад, штамповка дисків турбін);
- малопластичних жаростійких сплавів, які не допускають великих швидкостей деформування;
- вичавлюванням глибока витяжка, де потребується великий хід робочого інструменту.

Застосування роз'ємних матриць, які використовуються в даному випадку, дозволяє отримати заготовку без задирок та штампувальних

ухилів. Точність розмірів таких заготовок досягає 11-го або 12-го квалітетів. Коефіцієнт використання матеріалів досягає 0,6.

#### **5.5.4. Листова штамповка**

Листова штамповка є одним із способів виготовлення заготовок оброблення металу тиском, при якому листовий матеріал деформується у холодному або підігрітому стані. Цим способом виготовляють деталі різних розмірів – від найдрібніших (деталі годинників та приладів) до дуже великих (корпуси морських суден).

Головні переваги листової штамповки:

- можливість виготовлення легких, міцних, жорстких тонкостінних деталей простої або складної форми, які іншим способом виготовити неможливо або дуже важко;

- велика продуктивність і економне використання металу;
- висока чистота поверхні виробів;
- можливість автоматизації та роботизації виробничих процесів;
- взаємозамінність деталей.

У порівнянні з гарячою штамповкою холодна листова штамповка має наступні переваги:

- відсутній нагрів металу і, відповідно, поверхневий шар металу не окислюється;

- вироби виходять більш точними та з меншою шорсткістю.

У порівнянні з обробкою різанням холодна штамповка дозволяє скоротити витрати матеріалів, запобігти втратам на стружку, знизити трудомісткість виготовлення деталей. Крім того, у порівнянні з литтям вона практично не потребує механічного оброблення.

При виборі способу отримання заготовок виходять з порівняння різних методів: різання, лиття, кування, штамповка тощо та керуються наступними показниками:

- собівартість виробництва готових деталей;
- витрата матеріалу заготовки і штампа;
- трудомісткість у заготівельному і механічному виробництвах;
- якість деталей.

Перші три показники повинні бути мінімальними, останній – максимальним. Враховуючи, що витрати на метал досягають 60-80 % від собівартості заготовок, вибір оптимального методу виготовлення заготовок великою мірою буде залежати від цих витрат. Їх величину можна підрахувати за формулою:

$$C_{\text{н}} = C_{\text{р}} - C_{\text{о}} = G_{\text{р}} \cdot \text{Ц}_{\text{м}} - G_{\text{о}} \cdot \text{Ц}_{\text{о}}$$

де:  $C_{\text{м}}$  – витрати на метал, грн;

$C_{\text{р}}$  – вартість металу, який пішов на одну заготовку, грн;

$C_{\text{о}}$  – вартість відходів, грн;

$G_{\text{р}}$  – розрахункова кількість металу на заготовку, кг;

$\text{Ц}_{\text{м}}$  – ціна вихідного металу, грн/кг;

$G_{\text{о}}$  – розрахункова кількість металу відходів, кг;

$\text{Ц}_{\text{о}}$  – ціна відходів металу, грн/кг.

За відсутності вихідних даних для такого ресурсного аналізу при виборі раціонального методу виготовлення заготовок можливо керуватися практичними рекомендаціями, пов'язаними з обсягами виробництва.

Іноді для вибору методу співставляють лиття і обробку металів тиском. У цьому випадку необхідно враховувати експлуатаційні вимоги до деталей, що виготовляються. Навантажені деталі, до яких висуваються підвищені вимоги по механічним властивостям, особливо стосовно ударної в'язкості, краще виготовляти з кованих або штампованих заготовок. Гарячу об'ємну штамповку доцільно зіставляти з литтям під тиском, литтям у кокіль або зі штамповкою рідкого металу.

Як показує практика, при виробництві заготовок з мідних сплавів важливим показником є температура плавлення сплаву. Так, стійкість прес-форм при литві під тиском складає 5-10 тисяч заготовок, а стійкість штампа при гарячому штампуванні – 10-20 тисяч штамповок. При цьому вартість виготовлення прес-форми в 1,5-2 рази вища за вартість виготовлення штампу. Виходить, що при виготовленні заготовок з мідних сплавів доцільно використовувати штамповку. Але в цьому випадку необхідно виконувати додатково аналіз собівартості з урахуванням механічної обробки.

Якщо матеріалом деталі є легкоплавкі сплави, наприклад, цинкові або алюмінієві, доцільно використовувати лиття під тиском.

Товстостінну деталь, яка має сполучення з високою точністю та відповідно вимагає значного обсягу механічної обробки по всьому контуру, доцільно виготовляти гарячою об'ємною штамповкою. При цьому також треба враховувати, що виготовлення штампів значно дешевше прес-форм для лиття під тиском.

При порівнянні способів виготовлення заготовок відцентровим литтям тіл обертання і гарячим об'ємним штампуванням слід враховувати переваги гарячого об'ємного штампування:

- припуски менші, ніж при відцентровому литті, де важко отримати деталі з товщиною стінок менше 10 мм;
- більш рівномірна структура і висока щільність штампованих заготовок, відсутність забрудненості неметалевими включеннями;
- можливість отримання заготовок з циліндричною порожниною, яка має ламану утворюючу.

Переваги гарячого об'ємного штампування особливо проявляються при виготовленні дрібних заготовок (із зовнішнім діаметром до 100 мм) – витрати металу при цьому на 25-40% менші, ніж при відцентровому литті. Для заготовок більшого діаметра переваги гарячого об'ємного штампування поступово зменшуються. При зовнішньому діаметрі заготовок понад 100 мм більш раціонально застосовувати відцентрове лиття ніж гаряче об'ємне штампування. При виборі заготовок необхідно враховувати стійкість і вартість оснащення.

Отже, процеси обробки металів тиском посідають провідне місце в заготівельному виробництві завдяки своїй універсальності, високій продуктивності, порівняно низькій собівартості і, головне, позитивному впливу на структуру і механічні властивості заготовок.

## **6. ОПАЛЕННЯ ЦЕХІВ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

Машинобудівні підприємства характеризуються великими за площею та об'ємом виробничими приміщеннями. Це викликає певні труднощі та особливості в системі опалення таких будівель. Основними задачами, які постають перед системою опалення приміщень, є:

- забезпечення комфортних умов праці, що напряму впливає на працездатність персоналу;

- захист обладнання від перепадів температур для запобігання його переохолодження та, як наслідок, поломки.

Виконання цих задач забезпечується за рахунок підтримання певних кліматичних умов, які нормуються. Ці умови являють собою сукупність температури, вологості та рухливості повітря, а також променевого теплообміну, які забезпечують необхідний тепловий баланс організму працюючого.

Нормативним документом, а саме ДБНВ.2.5 – 67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування», встановлені припустимі та оптимальні параметри мікроклімату, які, відповідно, залежать від величини питомих надлишкових тепловиділень, категорії робіт по важкості та зовнішніх кліматичних умов.

У холодний період року необхідні температурні умови у виробничих приміщеннях в робочий час забезпечуються системами повітряного опалення, суміщеними з вентиляцією, водяним, паровим, газовими або електричним опаленням.

За типом охоплення площі, яка опалюється, системи опалення поділяються на:

- централізовані;
- зональні.

Централізовані системи використовуються для максимально рівномірного нагрівання всіх ділянок цеху. Це особливо важливо за умови відсутності конкретних робочих місць, необхідності постійного переміщення людей на всій площі цеху.

Зональні системи опалення утворюють ділянки з комфортним мікрокліматом на робочих місцях без повного охопту площі цеху. Такий варіант надає можливість зекономити кошти, не витрачаючи ресурси та теплову енергію на баластний підігрів ділянок цеху, які не використовуються і не відвідуються людьми. При цьому технологічний процес не повинен порушуватися і температура повітря в робочій зоні повинна відповідати необхідним вимогам.

## 6.1. Системи повітряного опалення

Системи повітряного опалення знаходять своє застосування у будівлях I та II ступеня вогнетривкості для виробництв категорії Г та Д за умови видалення продуктів спалювання назовні або забезпечення вимог по чистоті повітря в приміщення, яке опалюється. Гаряче, попередньо підігріте, повітря по системі повітропроводів подається в частину будівлі, яка опалюється. В якості теплоносія в таких системах зазвичай використовується пара або гаряча вода. При організації даного типу опалення у виробничому приміщенні достатньо рівномірне розподілення теплоти як за його висотою, так і за площею забезпечується за допомогою зосередженого подавання повітря потужними струминами, які створюють відповідну циркуляцію повітря у всьому приміщенні. В деяких випадках використовують портативне обладнання, в тому числі і теплові пушки.

Даний вид системи опалення має певні позитивні властивості, які дозволяють його гідно оцінити:

- відсутність трубопроводів та опалювальних приладів, замість яких встановлюються повітропроводи;
- підвищене значення ККД за рахунок більш рівномірного розподілення повітря у приміщенні;
- можливість об'єднати повітряну опалювальну систему з системою вентиляції, що надає можливість забезпечити постійний рух повітря. У результаті відпрацьоване повітря виводиться з системи, а чисте і свіже – нагрівається і подається на опалення виробничого приміщення.

На рис. 6.1 наведено приклад реалізації системи повітряного опалення в промисловому приміщенні.



Рисунок 6.1 - Реалізація повітряного опалення в промисловому приміщенні

Основним недоліком даного типу опалення є значні витрати енергетичних ресурсів для приготування теплоносія (повітря) відповідних температур та його транспортування по системі повітропроводів.

Для скорочення енергетичних витрат може бути застосована рециркуляція – повторне використання повітря, коли основна частина повітря, яке забирається з приміщення, очищується у фільтрах, знов нагнітається та подається в приміщення. При цьому зовнішнє повітря подається у кількості, яка не суперечить санітарним нормам.

Якщо в процесі виробництва утворюються шкідливі речовини, то застосування рециркуляції вважається проблематичним, а здебільшого і неможливим. У такому випадку для економії енергетичних ресурсів може бути застосована утилізація теплоти повітря, яке видаляється, за рахунок установки додаткового теплообмінного обладнання.

## 6.2. Системи водяного та парового опалення

Системи водяного та парового опалення високого та низького тиску зазвичай використовуються в промислових приміщеннях заввишки до 5 м. У більш високих приміщеннях вони знаходять своє застосування в разі необхідності для локалізації холодних потоків повітря біля вікон. Вибір

системи опалення, виду та параметрів теплоносія обирається тепловою інерцією огорожувальних конструкцій, характером та призначенням приміщення. Слід брати до уваги той факт, що теплоносії доцільно використовувати той самий, який використовується для технологічних потреб, якщо це не протирічить гігієнічним, економічним та технологічним вимогам.

Джерелом теплоти для **системи водяного опалення** можуть слугувати мережі центрального тепlopостачання, а також індивідуальна котельня. Серед основних переваг водяної системи слід відзначити наступне:

- повітря спокійно циркулює у приміщенні;
- теплота розповсюджується рівномірно.

Одним із основних недоліків даної системи опалення є той факт, що при її використанні повітря в приміщенні прогривається повільно, внаслідок чого робота системи потребує значної витрати енергоресурсів для приготування гарячої води.

З метою зниження енергетичних витрат водяна система опалення виробничих приміщень у неробочий час може функціонувати в режимі чергового опалення для підтримки температури внутрішнього повітря на рівні  $+10^{\circ}\text{C}$  (якщо це не протирічить технології виробництва).

Що стосується **парового опалення**, то основними його перевагами є можливість швидкого прогрівання приміщення будь-якої площі, а також можливість підтримання високих температур (до  $100^{\circ}\text{C}$ ). Щодо недоліків, то слід відзначити, що в процесі роботи воно створює багато шуму та потребує значних витрат палива. У зв'язку з цим парове опалення застосовується переважно для приміщень технічного призначення, де робочі місця відсутні.

Недоцільність реалізації централізованих систем опалення в промислових приміщеннях великого об'єму полягає в тому, що, окрім робочого персоналу, там знаходиться метал, який поглинає теплоту. Тому рівномірне прогрівання об'єму приміщення потребує значних енергетичних витрат, і, відповідно, значно підвищує вартість кінцевої продукції

підприємства. У зв'язку з вищевикладеним останнім часом централізовані системи опалення практично не використовуються.

### 6.3. Системи інфрачервоного опалення

Системи інфрачервоного опалення все частіше приходять на зміну централізованим системам, які застосовують для підтримання необхідних параметрів повітря по всій площі цеха. Найбільш ефективні і економічні вони у виробничих цехах, де на великих площах зайнята невелика кількість персоналу і доцільно обходитися виключно локальним опаленням робочих місць або підтримувати певний температурний режим виробничого обладнання.

На рис. 6.2 наведено приклад реалізації системи інфрачервоного опалення в промисловому приміщенні.



Рисунок 6.2 - Інфрачервоне опалення промислового приміщення

Найбільшого розповсюдження набули електричні (рис. 6.3.а) та газові (рис. 6.3.б) інфрачервоні обігрівачі.



а



б

Рисунок 6.3 - Зовнішній вигляд електричних (а) та газових (б) інфрачервоних обігрівачів

При інфрачервоному опаленні основна кількість теплоти надходить у вигляді променевої енергії, яка випромінюється розпеченими до 800-900 °С керамічними або металевими насадками. Однією із основних переваг інфрачервоного опалення є ергономічність – розміщення обігрівачів на стінах або під стелею, не займаючи корисну площу у виробничому приміщенні.

Енергія, яка випромінюється, розповсюджується в просторі прямолінійно і може бути спрямована на поверхні огорожувальних конструкцій і обладнання, які знаходяться опалювальній зоні. Цими поверхнями енергія частково поглинається, а частково віддзеркалюється.

При променевому опаленні повітря в приміщенні переважно нагрівається за рахунок вторинної конвективної віддачі теплоти від нагрітих поверхонь стін, підлоги і обладнання. Нагрів же повітря безпосередньо від випромінювання незначний.

Який же економічний ефект може дати локалізація системи опалення за рахунок використання інфрачервоних технологій? У зимову пору року температуру в цеху можна підтримувати на рівні +5 °С, а в робочих зонах піднімати до +15 °С. Зазвичай робочі зони складають від 20 до 40 %

загальної виробничої площі. Отже, обігриваючи цех локально, можна досягти до 60-80 % економії на опалення промислових цехів.

У Таблиці 6.1 наведено порівняльну характеристику трьох систем опалення, які можуть бути застосовані в промислових приміщеннях. Для проведення аналізу приймалася одна і та сама будівля об'ємом 10 000 м<sup>3</sup> за умови підтримання протягом доби температури всередині приміщення на рівні +18 °С. При цьому величина теплового потоку, який спрямований назовні, також можна вважати однаковим для всіх аналізованих випадків за умови однакового значення температури зовнішнього повітря на рівні 10 °С. Задача полягала у визначенні величини енергоспоживання протягом зазначеної доби для кожної з 3-х систем опалення.

Таблиця 6.1 - Порівняння можливих варіантів застосування систем опалення у промислових приміщеннях

Тип системи опалення	Опалювальна площа, м <sup>2</sup>	Час прогрівання	Енергоспоживання, кВт·год <sup>1</sup>
Водяна система опалення	1000	2-4 години	277
Повітряна система	1000	1 година	277
Інфрачервоне опалення	1000	15-20 хвилин	179

<sup>1</sup> – оцінка енергоспоживання приведена для цілодобового опалення приміщення площею 1000 м<sup>2</sup> при висоті 10 м, температурі робочої зони +18 °С, температурі зовнішнього повітря – 10 °С.

Наведені результати демонструють значні переваги відносно енергоспоживання системи інфрачервоного опалення в порівнянні з повітряним та водяним. Але навіть енергоефективне та економічно вигідне обладнання не дасть очікуваного ефекту, якщо при прийнятті рішення не правильно будуть враховані тепловтрати, конструктивні особливості будівлі та необхідний нормативний температурний режим.

Як вже неодноразово зазначалося, традиційні конвективні системи опалення є достатньо енергоємними. До того ж при їх використанні відбувається розшарування повітря за температурою: іде підігрів верхньої зони приміщення та недогрів нижньої. В результаті під стелею будівлі утворюється теплова подушка, де температура повітря може досягати 28 °С. Це призводить до різкого збільшення тепловтрат через покрівлю і верхню частину стін будівлі.

#### 6.4. Система опалення «тепла підлога»

Враховуючи вищенаведені фактори, на особливу увагу заслуговує організація опалення виробничих приміщень за допомогою системи поверхневого обігріву, які працюють за принципом відомих теплих підлог (рис. 6.4.). Останнім часом цей вид промислового опалення стає все більш затребуваним при новому будівництві та реконструкції існуючих промислових приміщень.



Рисунок 6.4 - Опалювальна система «тепла підлога» в промисловому приміщенні

Водяна тепла підлога працює достатньо ефективно, перетворюючи велику площу в теплий радіатор, який випромінює комфортне тепло для персоналу, який знаходиться на бетонній підлозі в робочій зоні. Така система дозволяє знизити витрати на опалення до 50 %. Річ у тім, що у випадку обладнання приміщення висотою понад 5 м системою «тепла підлога» теплота не накопичується під стелею, а розподіляється в його нижній частині. Це дає змогу знизити середню температуру в приміщенні на 7-8 °С без втрати комфорту, що дозволяє значно скоротити втрати теплоти через покрівлю та стіни.

Ефективність вищезазначеної системи формується завдяки деяким факторам. Першим із них є те, що система теплої підлоги низькотемпературна – температура теплоносія може складати 30-40 °С. Це дає можливість застосовувати менш потужні теплогенератори або теплові насоси. В якості другого фактору може виступати той факт, що при використанні даної системи тепле повітря не накопичується під стелею. Це говорить про сприятливе розподілення температури в приміщенні, що в свою чергу позитивно впливає і на стан здоров'я співробітників, і дозволяє збільшити довговічність обладнання. Крім того, при даному типі обігріву площа будівлі може бути використана абсолютно вільно, так як опалення фактично інтегровано в підлогу.

Окрім економічної доцільності та енергетичної ефективності, система опалення, як одна з основних систем мікроклімату, відіграє важливу роль у створенні відповідних мікрокліматичних параметрів в приміщенні, зокрема температури. Дуже важливу роль відіграє її розподілення по висоті приміщення. Створення комфортних умов праці для працівників підприємства залежить від того, яким чином відбувається цей процес. На рис. 6.5. наведено схему розподілення температури за висотою приміщення при роботі різних систем опалення.

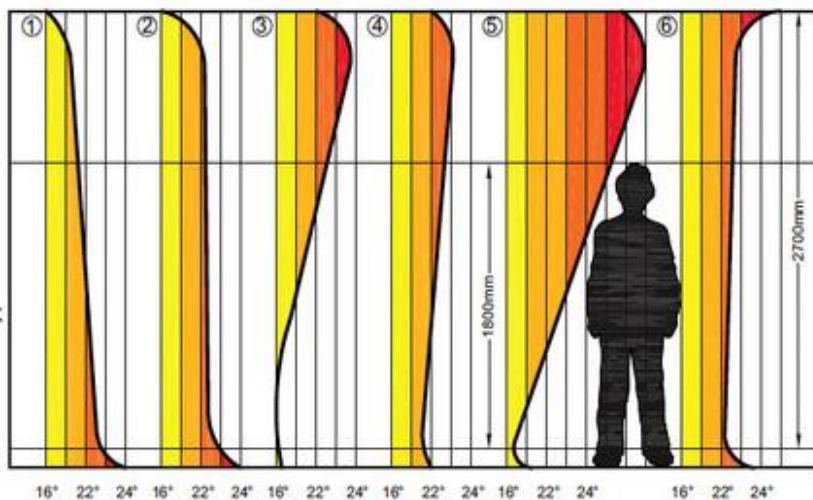


Рисунок 6.5 - Схема розподілення температури за висотою приміщення при використанні різних систем опалення:  
 1 – теоретична ідеальна крива; 2 – підлогове опалення;  
 3 – опалення радіаторами в стіні; 4 – опалення радіаторами на стіні;  
 5 – повітряне опалення; 6 – радіаційне стельове опалення

На наведеному рис. 6.5. крива 1 демонструє ідеальне розподілення температур за висотою приміщення. З точки зору комфорту значення температури повітря в приміщенні повинне поступово знижуватися за висотою (в нижній частині тіла людини температура оточуючого повітря повинна бути більшою, аніж у верхній).

Резюмуючи проведений аналіз відносно можливих систем опалення, які застосовуються у промислових приміщеннях, можна зазначити, що найбільш економічно доцільними та енергоефективними є системи інфрачервоного опалення та системи, виконані за типом «тепла підлога».

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Державна служба статистики України [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>. – Назва з екрану.
2. Энергоэффективные системы сжатого воздуха. Практические рекомендации по повышению эффективности производства [Електронний ресурс] / Программа IFC по стимулированию инвестиций в энергосбережении. – Електронні дані. - Режим доступу: <https://www.ifc.org/>. – Назва з екрана.
3. Теоретические основы окраски [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://www.galamix-lkm.ru/information/basics/> (дата звернення 10.12.2019). – Назва з екрана.
4. Обработка поверхностей металлов и пластмасс с использованием электролитических и химических процессов. Информационно – технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС-36-2017. – Москва: Бюро НДТ, 2017. – 238 с.
5. Выбор и способы изготовления заготовок для деталей машиностроения : учебник для студентов машиностроительных специальностей / [Круглов Е.П., Галимов Э.Р., Абямова А.Г. и др.]. – Казань, 2015. – 433 с.
6. Пегашкин В.Ф. Проектирование заготовок деталей машин: учебное пособие / Пегашкин В.Ф., Пегашкина Е.В. – Министерство образования и науки РФ; ФГАОУВПО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н.Ельцина», Нижнетагил. техн. ин-т (филиал). – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2016. – 105 с.
7. Энергосбережения в промышленности. Частина I : навчальний посібник / [Праховник А.В., Суходоля О.М., Денисюк С.П., Прокопенко В.В.]. – Київ, 2011. – 517 с.
8. Кремнев Г.П. Ресурс- и энергосберегающие технологии в машиностроении : учебное пособие / Кремнев Г.П., Новиков Ф.В. – Д. : ЛИРА, 2016. – 297 с.
9. Войцицкий А.П. Техноэкология: підручник / Войцицкий А.П., Дубровський В.П., Боголюбов В.М.; а ред. В.М. Боголюбова. - К.: Аграрна освіта, 2009. – 533 с.
10. Ресурсоэффективность литейного производства в России. Исследования и сравнительный анализ. [Електронний ресурс] / Программа IFC по стимулированию инвестиций в энергосбережении. – Електронні дані. - Режим доступу: <https://www.ifc.org/> – Назва з екрану.
11. Гиршов В.Л. Современные технологии в порошковой металлургии: учеб. пособие/ Гиршов В.Л., Котов С.А., Цеменко В.Н.– СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2010.– 385 с.
12. Воздушное отопление производственных помещений [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://teplov.com.ua/>. – Назва з екрану.
13. Промышленный теплый пол [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://obetone.com/>. – Назва з екрану.
14. Хромченков В.Г. Эффективность применения систем газового лучистого обогрева на промышленных предприятиях / Хромченков В.Г., Кутепов Е.В., Фролов А.Ю., Батарагин А.И. - Журнал «Новости теплоснабжения» №10 (122) 2010 г. – Режим доступу: <https://www.rosteplo.ru/> – Назва з екрану.

ДОДАТОК А – ПЕРЕЛІК ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ

Ресурс, що підлягає економії	Захід для забезпечення ресурсоефективності	Технологічний процес для застосування	Ресурс для впровадження	Ступінь впливу
1	2	3	4	5
Природний газ	Заміна газових печей на електричні	Термічна обробка металу	Суттєві інвестиції	Суттєвий
Природний газ	Впровадження установки індукційного нагріву замість «щільових» газових печей	Термічна обробка металу	Суттєві інвестиції	Суттєвий
Метал	Впровадження технології зварювання тертям замість обробки різанням	Обробка деталей на токарному верстаті	Суттєві інвестиції	Суттєвий
Теплова енергія	Рекуперація тепла системи охолодження компресора	Система стиснутого повітря	Незначні інвестиції	В залежності від потужності компресорів може бути суттєвим

## Продовження Додатку А

1	2	3	4	5
Електрична енергія	Зниження максимального тиску стиснутого повітря від компресора	Система стиснутого повітря	Не потребує інвестицій	Не суттєвий
Електрична енергія	Встановлення додаткового ресивера поблизу місць імпульсного споживання стиснутого повітря	Система стиснутого повітря	Незначні інвестиції	Суттєвий
Електрична енергія	Застосування ЧРП для компресорів	Система стиснутого повітря	Значні інвестиції	Суттєвий
Електрична енергія	Постійний контроль та ліквідація витоків стиснутого повітря	Система стиснутого повітря	Незначні інвестиції	Суттєвий
Електрична енергія	Контроль за не використанням стиснутого повітря не за призначенням	Система стиснутого повітря	Не потребує інвестицій	Не суттєвий
Матеріальні ресурси (трубопроводи системи стиснутого повітря, ремонт технологічного обладнання)	Встановлення осушувачів стиснутого повітря	Система стиснутого повітря	Потребує інвестицій	Від не суттєвого до суттєвого в залежності від витрат на ремонт технологічного обладнання

## Продовження Додатку А

1	2	3	4	5
Електрична енергія	Забезпечення роботи компресорів в режимах найбільш ефективного завантаження (алгоритм роботи компресорів)	Система стиснутого повітря	Не потребує інвестицій	Суттєво
Електрична енергія	Оптимізація конфігурації системи стиснутого повітря для запобігання великого перепаду тиску на окремих дільницях	Система стиснутого повітря	Незначні інвестиції	Суттєво
Вода	Встановлення водооборотної системи охолодження компресора замість розімкненої	Система стиснутого повітря	Потребує інвестицій	Суттєво
Електрична енергія	Вчасна заміна повітряних фільтрів компресорів	Система стиснутого повітря	Незначні інвестиції	Суттєво
Електрична енергія	Вчасне проведення технічного обслуговування компресорів	Система стиснутого повітря	Незначні інвестиції	Суттєво

## Продовження Додатку А

1	2	3	4	5
Електрична енергія	Перенесення компресора поблизу з місцем споживання стиснутого повітря	Система стиснутого повітря	Несуттєві інвестиції	Несуттєво
Електрична енергія	Встановлення приладів обліку і здійснення постійного моніторингу	Система стиснутого повітря	Не суттєві інвестиції	Несуттєво
Електрична енергія	Залучення для проведення пуско-налагоджувальних робіт і модернізації системи тільки компетентного персоналу	Система стиснутого повітря	Незначні інвестиції	Середні
Електрична енергія	Недопущення роботи системи у неробочий час	Система стиснутого повітря	Не потребує інвестицій	Незначний
Електрична енергія	Правильний вибір та регулювання роботи осушувачів повітря	Система стиснутого повітря	Середні інвестиції	Середній
Фарба	Заміна способу розпилення фарби на більш ефективний	Фарбування	Потребує інвестицій	Суттєво

Продовження Додатку А

1	2	3	4	5
Фарба	Використання декілька способів фарбування виробів, більш прийнятних для конкретних видів виробів	Фарбування	Потребує інвестицій	Суттєво
Фарба, розчинник, електрична енергія	Використання по можливості безповітряного розпилення під високим тиском замість способу пневматичного розпилення	Фарбування	Потребує інвестицій	Суттєво
Розчинник, фарба	Застосування пневматичного розпилення з нагріванням лакофарбового матеріалу (там де можливо)	Фарбування виробів	Середні інвестиції	Суттєвий
Теплота	Точно регламентована витримка пофарбованих деталей у камері-сушарні	Фарбування виробів	Не потребує інвестицій	Суттєвий
Електрична енергія	Встановлення в камері полімеризації інфрачервоних обігрівачів замість нагрівання повітря ТЕНами	Порошкове фарбування	Суттєві інвестиції	Суттєвий

## Продовження Додатку А

1	2	3	4	5
Електрична енергія	Своєчасна заміна фільтрів вентиляційної системи фарбувальної дільниці	Фарбування виробів	Не суттєві інвестиції	Середній
Електрична енергія	Уникати застосування для переплавляння іржавого залізного брухту і неочищеного власного повернення літників і браку	Лиття	Без інвестицій	Середній
Електрична енергія	Звертати увагу на щільність завантаження шихти, а громіздкий матеріал (наприклад, із власного повернення) потрібно ламати (подрібнювати)	Лиття	Без інвестицій	Середній

## Продовження Додатку А

1	2	3	4	5
Електрична енергія	Карбюратор потрібно додавати разом із шихтою, що завантажується, при дотриманні раціонального порядку завантаження шихти; більш пізня його добавка до рідкого металу коштує більш великих витрат енергії	Лиття	Без інвестицій	Середній
Електрична енергія	Кришку печі, по можливості, потрібно тримати закритою	Лиття	Без інвестицій	Невеликий
Електрична енергія	Використовувати тільки добре ізольовані, сухі і підігріті ковші	Лиття	Несуттєві інвестиції	Суттєвий
Електрична енергія	Використовувати для визначення температури плавки інструментальні методи	Лиття	Суттєві інвестиції	Несуттєвий
Електрична енергія	Не допускати перегріву металу	Лиття	Несуттєві інвестиції	Несуттєвий

## Продовження Додатку А

1	2	3	4	5
Метал	Застосування методів порошкової металургії в замін лиття	Лиття	Суттєві інвестиції	Суттєвий
Метал	Застосування лазерного різання металу замість плазмового при товщині металу до 5 мм	Заготівельні операції	Суттєві інвестиції	Несуттєвий
Електрична енергія	Застосування лазерного різання металу замість плазмового при товщині металу до 3 мм	Заготівельні операції	Суттєві інвестиції	Середній
Вода	Застосування багатокаскадних ван	Гальваніка	Суттєві інвестиції	Суттєвий
Вода	Заміна прямотокового промивання на протитокове	Гальваніка	Середні інвестиції	Суттєвий
Вода, теплота	Використання підігрітої води з систем охолодження і нагрівання	Гальваніка	Середні інвестиції	Суттєвий

## Продовження Додатку А

1	2	3	4	5
Вода	Зміна послідовності промивних операцій	Гальваніка	Незначні інвестиції	Суттєвий
Вода	Повторне використання промивної води	Гальваніка	Незначні інвестиції	Суттєвий
Вода	Забезпечувати витримку деталей над ваннами з метою стікання рідини та запобігання попадання її в наступну ванну	Гальваніка	Не потребує інвестицій	Середній
Метал	Організувати повернення води з ванни вловлювання назад у гальванічну ванну	Гальваніка	Незначні інвестиції	Середній
Теплота	Накривати кришками ванни знежирення та гарячого промивання	Гальваніка	Не значні інвестиції	Несуттєвий
Теплота	Використання інфрачервоного опалення замість водяного або повітряного	Опалення приміщень	Суттєві інвестиції	Суттєвий

## Продовження Додатку А

1	2	3	4	5
Теплота або електрична енергія	Використання водяної система «тепла підлога» замість радіаторного опалення або повітряного	Опалення приміщень	Суттєві інвестиції	Суттєвий
Електрична енергія	Заміна електричного нагрівача на газовий для потреб опалення	Опалення приміщень	Суттєві інвестиції	Суттєвий
Теплота	Локалізувати підігрів тільки місць знаходження персоналу до рівня вимог по санітарним нормам для виробничих приміщень	Опалення приміщень	Не суттєві інвестиції	Суттєвий







## Ресурсоефективне та чисте виробництво у машинобудівній промисловості

Публікація підготовлена в рамках проекту «Сприяння адаптації та впровадженню ресурсоефективного та більш чистого виробництва шляхом створення і роботи Центру більш чистого виробництва в Україні», який виконується Організацією Об'єднаних Націй з промислового розвитку (ЮНІДО) та національним Центром ресурсоефективного та чистого виробництва (ЦРЕЧВ). Донорами проекту є уряди Швейцарії та Австрії.

[www.recpc.org](http://www.recpc.org)



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra



**Державний секретаріат Швейцарії  
з економічних питань (SECO)**