

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

кафедра інжинірингу машинобудівних технологій

(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Обґрунтування параметрів технологічного процесу наплавлення тонких плоских деталей з використанням енергоощадних джерел і режимів нагрівання.

Виконав(ла): студент(ка) \_\_\_\_\_ курсу, групи \_\_\_\_\_  
спеціальності 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Дудич І.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Пулька Ч.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Окіпний І.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2020





## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра на тему: " Обґрунтування параметрів технологічного процесу наплавлення тонких плоских деталей з використанням енергоощадних джерел і режимів нагрівання " складається із розрахунково-пояснювальної записки об'ємом 60 аркушів формату А4 і графічної частини об'ємом 7 аркушів формату А1. Розрахунково-пояснювальна записка складається із таких частин: аналітична, технологічна, дослідницька, конструкторська, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Для висвітлення питань, які розглядаються у випускній кваліфікаційній роботі, розрахунково-пояснювальна записка містить 25 рисунків, 8 таблиць, 6 додатків. При написанні розрахунково-пояснювальної записки використано 25 першоджерел.

В даній роботі проведено аналіз питань щодо обґрунтування параметрів технологічного процесу наплавлення відрізних дискових ножів з використанням енергоощадних джерел і режимів нагрівання.

Проведені металографічні дослідження наплавленого металу, досліджено вплив режимів наплавлення на властивості наплавленого шару металу та його геометричні розміри. Розроблено устаткування для реалізації запропонованого технологічного процесу індукційного наплавлення.

Внаслідок запропонованих інженерних рішень можна досягнути економії електроенергії на 15 % та підвищити відносну зносостійкість на 1.2 рази в порівнянні з традиційною технологією індукційного наплавлення.

Ключові слова: ІНДУКЦІЙНЕ НАПЛАВЛЕННЯ, ІНДУКТОР, ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ЕКРАН, ТЕПЛОВИЙ ЕКРАН, ВІДРІЗНИЙ ДИСКОВИЙ НІЖ, ПОРОШКОПОДІБНИЙ ТВЕРДИЙ СПЛАВ.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....	7
1.1 Опис конструкції виробу та умов його роботи .....	7
1.2 Аналіз технологій виготовлення відрізних дискових ножів .....	9
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	13
2.1 Технічне обґрунтування способу наплавлення.....	13
2.2 Опис технологічного процесу виготовлення відрізного дискового ножа.	18
3 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА .....	22
3.1 Дослідження процесу індукційного наплавлення із застосуванням теплового та електромагнітного екранів при форсуючому режимі наплавлення .....	22
3.2. Металографічні дослідження наплавленого металу.....	25
3.3. Дослідження відносної зносостійкості та товщини наплавлюваного металу .....	28
4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА .....	32
4.1 Механізована лінія для індукційного наплавлення із застосуванням теплового та електромагнітного екранів.....	32
4.2 Принцип роботи автоматичної лінії.....	38
4.3 Розрахунок прямозубої передачі обертання поворотних планшайб .....	40
4.4 Економічна ефективність індукційного наплавлення .....	46
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	50
5.1 Розрахунок захисного заземлюючого пристрою для спроектованого цеху (дільниці).....	50
5.2 Заходи для захисту від ураження електричним струмом .....	52
5.3 Вимоги до стійкості функціонування промислового підприємства .....	55
ВИСНОВКИ.....	57
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	58
ДОДАТКИ.....	61

## ВСТУП

На даний час у світі та в Україні, найбільшу виробничу потужність займає агропромисловий комплекс, в якому велику роль відіграє виробництво ґрунтообробних машин та деталей до них. Даний вид машин працює у важких експлуатаційних умовах, а робочі органи піддаються абразивному зношуванню в процесі експлуатації. Тому на сьогодні стоїть багато питань, стосовно розроблення ефективних технологій їх виготовлення, з метою підвищення довговічності і надійності, а також економії матеріалів та енергозатрат.

Найбільш широкого застосування в ґрунтообробних машинах знайшли тонкі деталі товщиною до 6 мм, такі як диски луцильників та культиваторів, ножі-гичкорізи, лапи культиваторів, леміхи плугів, відрізні диски, диски сошника сівалки та інші. Вище згадані деталі, крім довговічності і надійності, повинні забезпечувати стійкість проти спрацювання і хороші різальні властивості в процесі експлуатації, що підвищує ефективність обробітку ґрунту.

З метою забезпечення вище сказаного їх робочі частини зміцнюють різними методами наплавлення та напилення.

Найбільш широке розповсюдження для зміцнення робочих поверхонь вище названих деталей одержало індукційне наплавлення стійкими проти спрацювання порошкоподібними твердими сплавами

Метод індукційного наплавлення постійно вдосконалюється в напрямку підвищення продуктивності процесу, розробки режиму нагрівання з метою економії електроенергії, розробки нагрівальних джерел (індукторів і систем) для покращення механічних властивостей наплавленого металу із забезпеченням геометричних і експлуатаційних характеристик виробів, розробки технології і обладнання.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Опис конструкції виробу та умов його роботи

Для обробітку ґрунту застосовують спеціальну техніку, яка оснащена різного типу навісним обладнанням. В якості навісного обладнання застосовують плуги, культиватори, луцильники та інші агрегати, які в свою чергу оснащені різного роду робочими елементами такими як: лемихи, суцільні та зубчасті диски, лапи, які піддаються в процесі експлуатації абразивному зношуванню. Ці елементи повинні володіти необхідною міцністю та стійкістю до спрацювання, а також забезпечувати необхідні різальні властивості в процесі експлуатації [1-5].

В роботі [5] розглядається елемент плуга (рис. 1.1), основними робочими органами якого є корпус, передплужник, кутознім і відрізний дисковий ніж., а саме ніж.

Ніж (рис. 1.2) призначений для підрізування скиби у вертикальній площині перед корпусом або передплужником. Під час оранки задернілих ґрунтів ножі встановлюють перед кожним корпусом. На староорних ґрунтах скиба збоку відокремлюється без відрізування, тому на багатокорпусних плугах ніж встановлюють тільки перед останнім корпусом для забезпечення рівної стінки і чистого дна борозни за плугом. Ножі бувають дискові і череслові. Другі застосовуються тільки при обробітку цілинних полів.

В роботі [6] розглядається дисковий ніж, який застосовують на плугах загального призначення. Він має вигляд сталевого диска, закріпленого на осі, яка на шарикопідшипниках встановлена в консолі. Лезо дискового відрізного ножа повинно бути заточене та забезпечувати самозагострювання в процесі експлуатації. Товщина кромки леза не повинна перевищувати 0,5 мм. Тупі ножі заточують, оскільки вони збільшують загальний опір плуга. Вирізна форма зовнішньої кромки диска дає можливість заглиблювати ніж на більшу глибину та краще різати рослинні рештки.



Рис. 1.1 Загальний вигляд плуга з відрізним диском



Рис. 1.2 Загальний вигляд конструкції відрізнних дискових ножів



Відрізний диск представляє собою тонку плоску деталь товщиною 5 мм та діаметром 420-525 мм, яка виготовляється із сталі 45. Хімічний склад та механічні властивості даної сталі приведені у таблиці 1.1. та 1.2 відповідно.

Таблиця 1.1. Хімічний склад сталі [7]:

Стандарт	C	S	P	Mn	Cr	Si	Ni	Fe	Cu	N	As
ГОСТ 1050-88	0.42-0.5	≤0.04	≤0.035	0.5-0.8	≤0.25	0.17-0.37	≤0.3	Залишок	≤0.3	≤0.006	≤0.08

Таблиця 1.2. Механічні властивості сталі [7]:

товщина, мм	t відпуску, °C	s <sub>T</sub>  s <sub>0,2</sub> , МПа	σ <sub>B</sub> , МПа	d <sub>5</sub> , %	d <sub>4</sub>	d	y, %	КСУ, кДж/м <sup>2</sup>	НВ, МПа
Прокат тонколистовий холоднокатаний. Група міцності K490B									
≤2	-	-	490-720	-	≥13	-	-	-	-
2-3.9	-	-	490-720	-	≥14	-	-	-	-
Без термообробки - стан поставки									
≤80	-	-	≥590	≥18	-	-	-	-	-
6-25	-	-	≥600	≥16	-	-	≥40	-	-

Відрізний диск в процесі експлуатації піддається абразивному спрацюванню. На процес абразивного зношування може впливати природа абразивних частинок, агресивність середовища, властивості поверхонь, що зношуються, ударна взаємодія, нагрівання та інші фактори. Загальним для абразивного зношування є механічний характер руйнування поверхні.

Покриття повинно забезпечувати наступні властивості виробу:

- підвищення зносостійкості;
- захист від абразивного зношення;
- захист від корозійного зношення;
- збільшення робочого ресурсу виробу;
- товщина покриття повинна бути не менше 0,5 мм.

## 1.2 Аналіз технологій виготовлення відрізних дискових ножів

При обробітку ґрунту застосовуються відрізні дискові ножі, які входять в конструкцію плугів. Даний ніж повинен забезпечувати необхідні міцнісні та

різальні властивості в процесі експлуатації. Тому при їх виготовленні ріжучу кромку зміцнюють різними методами.

Так, однією із існуючих технологій зміцнення ріжучої кромки є метод її поверхневого гартування, що дозволяє підвищити її зносостійкість в 2-3 рази. Суть даного способу полягає в тому, що деталь нагрівають до температури 830–850 °С і швидко охолоджують. Після загартування необхідно проводять низький відпуск при температурі 140-160 °С. Даний метод дозволяє підвищити зносостійкість, але не може забезпечити самозагострювання в процесі експлуатації, тобто через певний наробіток ніж необхідно заново заточувати.

В промисловості, при виготовлення тонких плоских деталей ґрунтообробних машин широкого застосування знайшов спосіб індукційного наплавлення. До переваг даного способу відносять: можливість наплавлення тонких прошарків; висока продуктивність; можливість механізації й автоматизації процесу. До недоліків можна віднести відносно висока енергоємність, перегрівання основного металу, а присаджувальний матеріал повинен бути більш легкоплавким, ніж основний.

Для індукційного наплавлення використовується спеціальна шихта, що складається із суміші порошку стійкого проти спрацювання сплаву і флюсу. Шихту наносять на поверхню деталі в вигляді прошарку необхідної товщини. Після цього ділянку деталі, що підлягає наплавленню, розміщують в індукторі високочастотної установки.

При проходженні струмів високої частоти через індуктор в поверхневих шарах металу наводяться вихрові струми, які розігрівають деталь, а від поверхні деталі плавиться шихта [8, 9].

Шар порошкоподібної шихти, розташованої між індуктором і поверхнею основного металу, має високий питомий опір і повільно реагує на дію електромагнітного поля, шихта в основному нагрівається за рахунок тепла, яке виділяється у деталі [9].

На початку процесу нагрівання деталі разом із шихтою до точки Кюрі (768°С) індукційний струм розподіляється головним чином в поверхневому

шарі (біля 0,1 мм) основного металу, а після переходу через точку Кюрі глибина проникнення струму в основний метал збільшується майже в 20 разів, завдяки чому температура в основному металі розподіляється більш рівномірно. Коли шар нанесеної шихти нагрівається до температури 600-750 °С, відбувається плавлення флюсу, осідання частинок сплаву.

Після повного розплавлення шихти нагрівання припиняється і рідка ванна кристалізується.

Для дисків складної форми і відносно великих розмірів з суцільною і переривистою робочою поверхнею застосовують неперервно-послідовне наплавлення (рис. 1.3) [1].

При цьому сегментний індуктор закріплюється нерухомо до високочастотного генератора, а деталь з шихтою обертається відносно нього.



Рис. 1.3. Загальний вигляд неперервно-послідовного індукційного наплавлення [1]

Перевагами даного способу є технологічна гнучкість, можливість здійснювати наплавлення деталей різних розмірів при відносно невеликій потужності високочастотних генераторів. Але в порівнянні з цим є і ряд недоліків, а саме порівняно низька продуктивність, велика енергоємність, а також короблення деталі, що відображається на стабільності товщини наплавлюваного металу.

Для наплавлення дисків суцільної і зубчатої форми в роботі [10] запропонована технологія одночасного індукційного наплавлення по всій

робочій поверхні (рис. 1.4), яка дозволяє підвищити продуктивність процесу наплавлення в 4-5 разів і економію електроенергії на 15-25% та зменшити деформацію дисків.

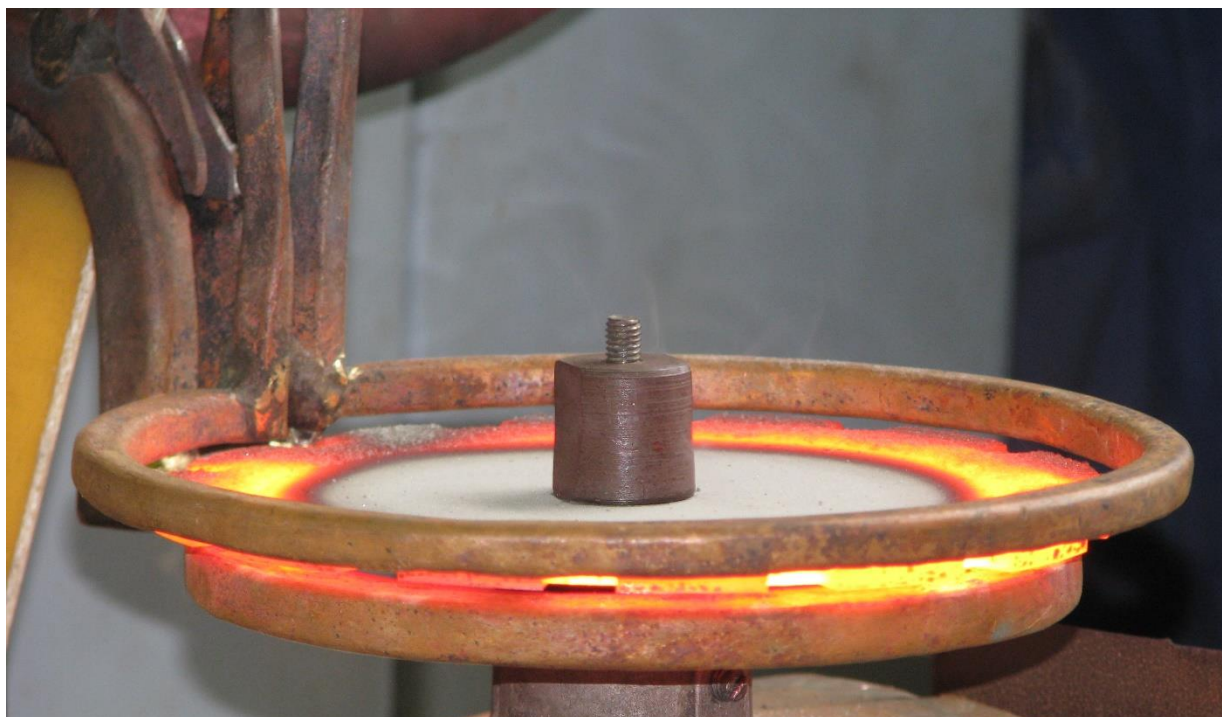


Рис. 1.4. Процес одночасного індукційного наплавлення по всі робочій поверхні

Таким чином, при розгляді методів підвищення експлуатаційних властивостей відрізних дискових ножів найбільш раціональним є індукційне наплавлення порошкоподібними твердими сплавами одночасно по всій робочій поверхні. Однак необхідно розробити технологію наплавлення яка б дозволила зменшити енергозатрати та підвищити якість напавлених деталей.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Технічне обґрунтування способу наплавлення

Найбільш широкого застосування при виготовленні деталей ґрунтообробних машин, знайшов спосіб порошкоподібними твердими сплавами за допомогою струмів високої частоти (індукційне наплавлення).

Технологічні особливості даного способу наплавлення розглянуті в пункті 1.2 попереднього розділу.

Процес індукційного наплавлення постійно вдосконалюється з метою підвищення продуктивності, автоматизації процесу, підвищення якості наплавлених деталей та зменшення енерговитрат.

Так, в роботі [11] запропоновано методи підвищення продуктивності процесу наплавлення та зменшення енерговитрат, що пов'язано із застосуванням форсуючого режиму наплавлення і теплових та електромагнітних екранів. Це дозволяє зменшити розсіювання електромагнітних полів, за рахунок чого збільшується інтенсивність нагрівання основного металу. Тепловий екран застосовують з метою зменшення теплообміну напавленої деталі з повітрям. Загальний вигляд наплавлення із застосуванням теплового і електромагнітного екрану показано на рисунку 2.1 (а, б).

Тому, для наплавлення відрізних дискових ножів будемо застосовувати спосіб одночасного індукційного наплавлення по всій робочій поверхні із застосуванням одночасно теплового та електромагнітного екранів по експоненціальному (форсуючому) режимі наплавлення.

Для якісного наплавлення диска по його периметру здійснюється за час  $\tau$  з допомогою змінної в часі питомої потужності теплових джерел, яка визначається за енергоощадним по потужності законом

$$W_2 = W_{30} = \frac{\lambda_g m^2}{sh(am^2\tau)} T_{30} e^{am^2t}, [10] \quad (2.1)$$

який дозволяє економити електроенергію на 15...25%. Тут введені позначення:  $T_{30}$  – температура (задана), яка досягається за час  $\tau$ ;  $\lambda_g = c\alpha\gamma$ , Вт/(м · °С);  $c$  – питома теплоємність,  $\frac{Дж}{м^3 \cdot ^\circ C}$ ;  $a$  – температуропровідність,  $\frac{м^2}{с}$ ;  $\gamma$  – густина, кг/м<sup>3</sup>;  $m^2 = \frac{Bi}{2h^2}$ ;  $Bi = 2h\alpha/\lambda$  – критерій Біо;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу диска, Вт/(м · °С);  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м<sup>2</sup> · °С);  $t$  – біжучий час;  $\tau$  – час наплавлення.

Наплавлення відрізних дискових ножів проводили на режимах які представлено в таблиці 2.1.



а

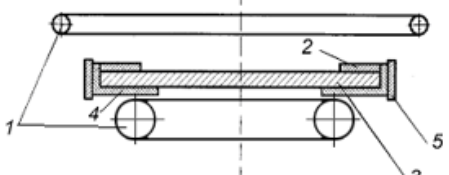
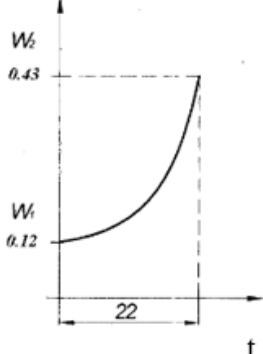


б

Рисунок 2.1 Загальний вигляд процесу індукційного наплавлення із застосування теплового та електромагнітного екранів: а – до наплавлення; б – під час наплавлення

Для реалізації процесу індукційного наплавлення, з врахуванням розмірів деталей та параметрів режиму наплавлення, застосовуємо високочастотний генератор типу ВЧГЗ-160/0,066 (рис. 2.2) [12]. Технічна характеристика якого приведена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 - Режим наплавлення відрізного дискового ножа

Нагрівальні системи	Режими наплавлення					Тип генератора	Характер зміни питомої потужності на індукторі $W \cdot 10^{-9} \text{ Вт/м}^3$
	Напруга на контурі, кВ	Анодна напруга, кВ	Струм сітки лампи, А	Струм анода лампи, А	Час наплавлення, с		
 <p>1 - індуктор; 2 - твердий сплав; 3 - деталь; 4, 5 – відповідно тепловий і електромагнітний екрани</p>	Змінні					ВЧГ3-160/0,066	
	вхідні чисельник (t=0 с)		вихідні знаменник (t=22 с)				
	2.2 7.0	8.3 10.0	0.36 0.95	1.1 3.1	22		

Генератор типу ВЧГ3-100/0,66 призначений для живлення технологічних пристроїв індукційного нагрівання при різних технологічних операціях.

Високочастотний генератор ВЧГ3 - 160/0,066 складається з двох генераторного і контурного блоків. Нагрівальний індуктор під'єднується до вивідних затискачів. Генераторний і контурний блоки виконані у вигляді металевих шаф, всередині яких скомпоновані всі елементи електричної схеми та водоохолодження. На лицьових дверях блоків розташована пуско-регулююча апаратура. [12]



Рисунок 2.2 Загальний вигляд генератора типу ВЧГ3-160/0,066

Таблиця 2.2 – Технічна характеристика генератора ВЧГ3-160/0,066 [12]

Напруга живильної мережі, В	380
Число фаз мережі живлення	3
Частота струму мережі живлення, Гц	50
Потужність, споживана від мережі, кВт	235
Потужність коливальна, кВт	160
Робоча частота, кГц	66 (+7,9/-6,6)
Коефіцієнт корисної дії, %	72
Коефіцієнт потужності при анодній напрузі 10,5 – 11, кВ	0,88
Витрата охолоджуючої води, м <sup>3</sup> /год	6,0
Габаритні розміри, мм:	3200x1550x2100
Маса, кг	3100



В якості нагрівального приладу для наплавлення відрізних дискових ножів застосовуємо двовитковий кільцевий індуктор (рис. 2.3). Він складається з двох кільцевих витків верхнього і нижнього, які з'єднані між собою в протифазі по струму і магнітному потоку. Верхній виток розташований над наплавлювальною поверхнею деталі, а нижній розташований під наплавлювальною поверхнею. Діаметр верхнього більший за діаметр деталі, а діаметр нижнього витка менший за діаметр деталі. Також для більш ефективного нагрівання деталей в процесі наплавлення та з метою запобігання перегрівання торця наплавлювальних деталей площа поперечного перерізу верхнього витка відповідно менша за площу поперечного перерізу нижнього витка. Витки індуктора розташовуються паралельно наплавлювальній поверхні. Таке виконання індуктора з різними діаметрами витків дозволяє автоматизувати процес наплавлення, та досягти рівномірного температурного поля по ширині зони наплавлення для забезпечення рівномірної товщини наплавленого шару металу.



Рисунок 2.3 Загальний вигляд двовиткового кільцевого індуктора

При індукційному наплавленні робочих поверхонь деталей ґрунтообробних машин, в тому числі відрізних дисків, застосвують порошкоподібні тверді сплави на основі сірих чавунів.

В більшості випадків при наплавленні деталей ґрунтообробних машин застосовують тверді порошки типу ПГ-С1, ПГ-АН5, ПГ-АН8, ПГ-АН9, які забезпечують необхідні експлуатаційні властивості деталей [13].

Найбільш широкого застосування знайшов порошкоподібний твердий сплав сормайт (ПГ-С1), який з поміж інших володіє необхідною твердістю та зносостійкістю, що дозволяє в процесі експлуатації забезпечувати процес самозагострювання ріжучих кромek деталей ґрунтообробних машин.

Хімічний склад порошку ПГ-С1 наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Хімічний склад порошку ПГ-С1 [ 13]

Вміст елементів, %								
C	Cr	Si	Ni	<u>Mn</u>	B	Cu	W	Fe
2,5-3,3	27-31	2,8-4,2	3,0-5,0	0,4-1,5	-	-	-	основа

## 2.2 Опис технологічного процесу виготовлення відрізного дискового ножа

При виготовленні деталей ґрунтообробних машин, які працюють в абразивному середовищі, виконують наплавлення його робочої поверхні порошкоподібними твердими сплавами. Оскільки процес індукційного наплавлення полягає у плавленні твердоподібного порошку (шихти), за рахунок тепла основного металу, шляхом спікання і змочування основного металу, тому до заготівельних операцій необхідно приділити найбільшу увагу.

Заготівельні операції в технологічних процесах індукційного наплавлення включають в себе правлення листового металу, з якого будуть вирізатися заготовки деталей, очищення поверхні, від бруду та інших речовин, яка підлягає наплавленню.

Так, для правлення листового металу із сталі 45 товщиною 5 мм застосовуємо листопривильну машину типу Roundo PRH 120 / 1500 (рис. 2.4).



Рис. 2.4 Загальний вигляд листопривильної машини Roundo PRH 120 / 1500

Даний тип машини призначений для правлення листового металу товщиною 3-8 мм і шириною листів 1 м. Правлення листового прокату на даній машині відбувається за рахунок деформування листа між правильними роликками діаметром 120 мм.

Виправлений листовий прокат за допомогою роликового конвеєра подається на операцію різання. Вирізання заготовок здійснюємо за допомогою лазерної установи порталного типу LTC-PRO-2000 [14] (рис. 2.5).

Даний тип установки дозволяє одночасно здійснювати розмітку і вирізання заготовок відрізних дискових ножів необхідної конструктивної форми. Ширина різку на даній установці складає 0,07-0,15 мм, що дозволяє зменшити розхід матеріалу в порівнянні з іншими способами, а також після різання не потрібно проводити додаткові технологічні операції, наприклад вирівнювання торців деталей при різанні за допомогою установок для прес-різання. Технічна характеристика установки приведена в таблиці 2.4



Рисунок 2.5 Загальний вигляд лазерної установки типу LTC-PRO-2000

Таблиця 2.4 Технічна характеристика установки для лазерного різання типу LTC-PRO-2000

Тип лазера	Ітербієвий волоконний
Передача променю	Через оптоволоконна
Ширина плями сфокусованого випромінювання	0,07-0,15 мм
Середня потужність випромінювання	2000 – 6000 Вт
ККД лазерного джерела, не менше	до 50%
Система руху	
Кінематична схема	Портальна, лист нерухомий
Базові варіанти розміру поля обробки	3000×1500;
Тип приводу координат X,Y	Лінійний привід
Система ЧПУ	США
Точність позиціонування по координатам (X, Y)	±0.01 мм
Максимальна швидкість переміщення	120 м/хв
Загальні характеристики системи	
Система підтримки фокусу	Безконтактна
Тип охолодження	автономне
Напруга живлення	~380±18%; 50Гц; 3-фази
Потужність споживання лазерної установки, кВт	14 – 28

Вирізані заготовки дискового ножа по конвеєру з операції різання, поступають на операцію зачищення наплавлювальної поверхні. Зачищення

поверхні проводять за допомогою спеціальної установки, яка оснащена металевими щітками.

Після очищення заготовок їх складають в спеціальні контейнери і подають на операцію наплавлення. Наплавлення здійснюють на спеціальній автоматичній лінії (принцип роботи описаний в п. 4). Наплавлення здійснюють за допомогою високочастотного генератора типу ВЧГЗ-160/0,066 на режимах описаних вище.

З наплавлювальної ділянки наплавлені деталі поступають на операцію заточування ріжучих кромek та покривають деталь спеціальною фарбою або мастилом призначеним для зберігання металу.

На кожному етапі технологічного процесу виготовлення відрізних дискових ножів проводять візуально-оптичний метод контролю.

## **3 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА**

### **3.1 Дослідження процесу індукційного наплавлення із застосуванням теплового та електромагнітного екранів при форсуючому режимі наплавлення**

Експериментальні дослідження проводили при наплавленні деталей із застосуванням теплового та електромагнітного екранів та без екранування теплових і електромагнітних полів.

Наплавлення із застосуванням екранів здійснювали наступним чином: деталь з попередньо насипаною на неї шихтою встановлювалась в двохвитковий кільцевий індуктор, а на торці диска і нижній його поверхні, по периметру розташовано тепловий екран та торці електромагнітний екран, які з'єднані між собою жорстко, і закріплені до нижньої плити. Електромагнітний і тепловий екрани виконані з можливістю вертикального переміщення відносно торця диска і витків індуктора за допомогою спеціального приводу, що дає можливість додатково регулювати температурне поле в диску. Також для порівняння запропонованої технології наплавляли диски за традиційною технологією індукційного наплавлення із застосуванням двохвиткового кільцевого індуктора.

В роботі [15] також показано, що з допомогою оптимального вибору геометричних розмірів індуктора та коефіцієнта екранування електромагнітного поля досягається рівномірність питомої потужності теплових джерел по ширині зони наплавлення, а значить, покращується якість наплавлення (усунення перегрівання основного і наплавленого металів, підвищення рівномірності товщини наплавленого шару).

З метою порівняння двох технологій наплавлення, були проведені експериментальні дослідження одночасного наплавлення з допомогою двохвиткового кільцевого індуктора з круглими поперечними перерізами витків. Результати показали, що для рівномірного розплавлення шихти велике має значення взаємне розташування витків індуктора та теплового і електромагнітного екранів відносно наплавлювальної поверхні, а також

режимів підводу потужності, для забезпечення наплавлюваного валика шириною 50 мм і товщиною наплавлюваного шару 0.5...1.0 мм [11].

Наплавлення здійснювалось одночасно по всій робочій поверхні від генератора типу ВЧГЗ-160/0,066. Параметри режиму наплавлення (таблиця 3.1) для традиційної технології у початковий момент часу складали: напруга на контурі – 2,2 кВ; напруга на аноді лампи – 8 кВ; струм сітки лампи – 3,6 А; струм анода лампи – 1,1 А; час наплавлення всієї робочої поверхні диска складав 32 с, а кінцеві параметри складали відповідно 6,4, 9,5, 1,85, 6,0.

Процес здійснювали без перемикання генератора, тобто питома потужність на індукторі змінювалась по енергоощадному закону (2.1) [ 11 ].

При наплавленні із застосуванням теплового і електромагнітного екранів параметри наплавлення були наступні: напруга на контурі – 2,2 кВ; напруга на аноді лампи – 8,3 кВ; струм сітки лампи – 3,6 А; струм анода лампи – 1,1 А; час наплавлення всієї робочої поверхні диска складав 22 с, а кінцеві параметри складали відповідно 7,0, 10,0, 0,95, 3,1.

Значення питомої потужності складала:

- для першого випадку в початковий момент часу  $W_1=0,06 \cdot 10^9$  Вт/м<sup>3</sup> і в кінцевий момент часу  $W_2=0,39 \cdot 10^9$  Вт/м<sup>3</sup>;
- для другого випадку відповідно  $W_1=0,12 \cdot 10^9$  Вт/м<sup>3</sup> і  $W_2=0,43 \cdot 10^9$  Вт/м<sup>3</sup>.

В роботі [ ] показано, що економію теплової енергії можна досягти шляхом екранування поверхневих конвективних втрат тепла біля нижньої поверхні диска, яка не підлягає наплавленню, і торця диска. Тепловий екран при цьому повинен бути виконаний із прозорого для електромагнітних хвиль матеріалу (наприклад, азбестошиферу).

Тоді енергія теплового потоку, при екрануванні нижньої поверхні і торця диска буде

$$\Delta_{nm} = 2\pi \int_{r_4}^{r_2} \int_0^{\tau} (1 - K_T) \alpha \cdot T r dr dt + S_2 \int_0^{\tau} \alpha (1 - K_T) T(r = r_2) dt, \quad (3.1)$$

де  $T$  – температура диска,

$S_2$  – площа поверхні зовнішнього торця диска, яка екранується,

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні диска в навколишнє середовище.

Таблиця 3.1 Нагрівальні системи і режими наплавлення

Нагрівальні системи	Режими наплавлення					Тип генератора	Характер зміни питомої потужності на індукторі $W \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м}^3$
	Напруга на контурі, кВ	Анодна напруга, кВ	Струм сітки лампи, А	Струм анода лампи, А	Час наплавлення,		
без екранування теплових і електромагнітних полів 	Змінні					ВЧГЗ – 160/0,066	
	вхідні чисельник ( $t=0 \text{ с}$ )		вихідні знаменник ( $t=32 \text{ с}$ )				
з екрануванням теплових і електромагнітних полів 	Змінні					ВЧГЗ – 160/0,066	
	вхідні чисельник ( $t=0 \text{ с}$ )		вихідні знаменник ( $t=22 \text{ с}$ )				
2.2 / 6.4		8.0 / 9.5		3.6 / 1.85		1.1 / 6.0	32
2.2 / 7.0		8.3 / 10.0		0.36 / 0.95		1.1 / 3.1	22
1 - індуктор; 2 - твердий сплав; 3 - деталь; 4, 5 – відповідно тепловий і електромагнітний екрани							

Провівши розрахунки за формулою (3.1) показали, що економія теплової енергії буде рівна  $0,0657 + 0,0197 = 0,0854$  кВт год.

Експериментально встановлено, що при наплавленні за традиційною технологією одночасного наплавлення по всій робочій поверхні при постійній питомій потужності джерела теплоти на наплавлення одного диска витрачається 0,386 кВт год енергії, а при наплавленні із застосуванням теплового і електромагнітного екранів витрати електроенергії зменшуються на 0,06 кВт год, тобто становлять 0,326 кВт год, що 1,2 рази менше. А при застосуванні енергоощадного режиму наплавлення (форсуючого) енерговитрати становлять 0,308 кВт год та 0,261 кВт год відповідно при традиційній технології наплавлення та при застосуванні теплового і електромагнітного екранів (рис. 3.1).



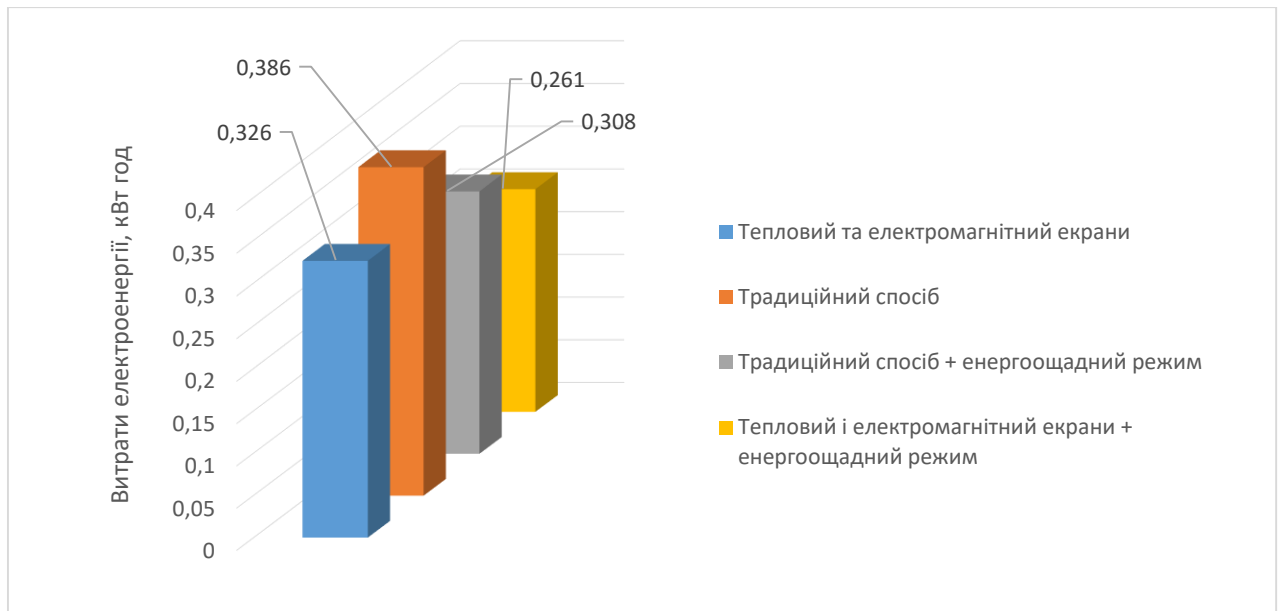


Рисунок 3.1 Зміна енергозатрат при індукційному наплавленні деталей при постійній і змінній в часі потужності теплового джерела

### 3.2. Металографічні дослідження наплавленого металу

З метою дослідження впливу застосування теплового та електромагнітного екранів на властивості наплавленого металу були проведені металографічні дослідження в порівнянні із традиційною технологією індукційного наплавлення по всій робочій поверхні.

Мікроструктуру досліджуваних зразків вивчали на приладі НЕОФОТ-32 (Німеччина). Травлення зразків, наплавлених стійким проти спрацювання сплавом ПГ-СІ виконували електролітичним способом в хромовій кислоті - напругою 20 В, час витримки  $t=5$  с [16].

При проведенні досліджень було встановлено, що за зовнішнім виглядом наплавлені зразки (товщина і ширина) практично не відрізнялися один від одного; за структурою різниця є в основному за формою й характером розподілу надлишкових карбідів в центральній зоні наплавленого шару.

Мікроструктура наплавленого зразка за традиційною технологією одночасного наплавлення по всій робочій поверхні, складається із суміші надлишкових карбідів хрому різної форми і евтектичних дрібнодисперсних карбідних виділень. Відмінною особливістю первинних карбідів є

віялоподібний характер їх виділень, а також наявність карбідів пластинчастої форми (рис. 3.2, а). Структура металу по краях наплавлення як по типу, так і по ширині перехідної зони практично не відрізняються від структури наплавленого зразка із застосуванням теплового і електромагнітного екранів.

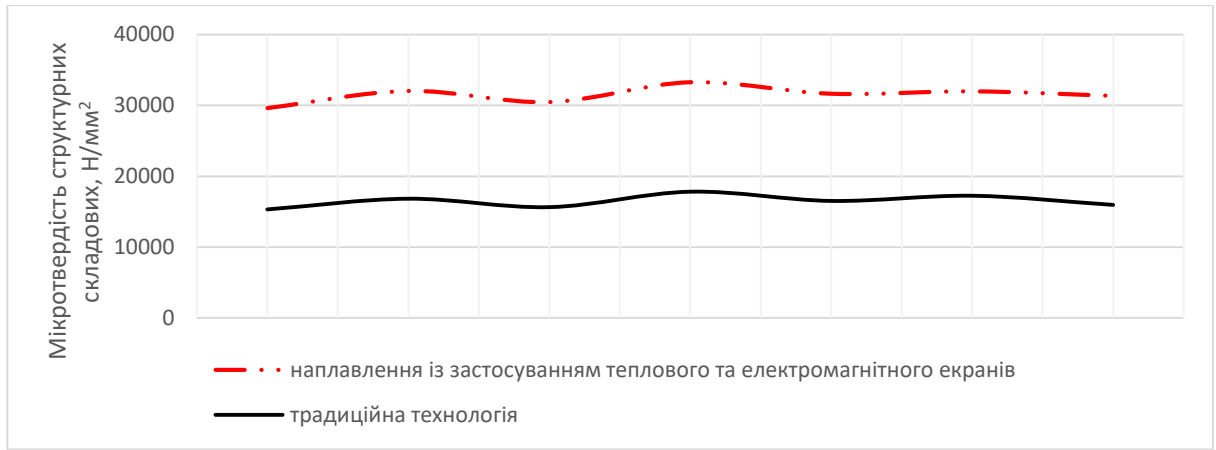
В мікроструктурі наплавленого металу за запропонованою технологією з використанням теплового та електромагнітного екранів, спостерігаються первинні хромисті карбіди у вигляді великих пластин прямокутної форми, які майже рівномірно розподілені в матриці наплавленого металу (рис. 3.2, б). З боку наплавленого металу до межі розділення примикають скупчення карбідної евтектики. На лінії сплавлення наплавлений метал має чітко виражену дендритну структуру. В верхній зоні наплавленого металу спостерігається виділення первинних карбідів також віялоподібного характеру, як і при напавленні за традиційною технологією одночасного наплавлення. Перехідна зона (зона сплавлення) на межі розділення між основним і наплавленим металом має змінну ширину (15...20 мкм).

Також були проведені дослідження мікротвердості структурних складових. Вимірювання мікротвердості проводили на мікротвердомірі М-400 фірми „Леко”.

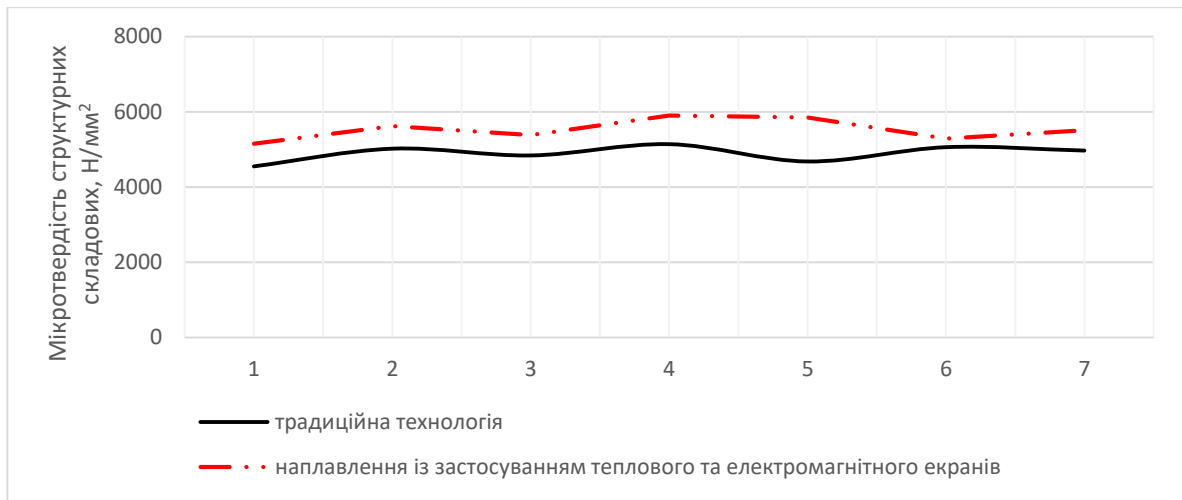
Зміна величини мікротвердості структурних складових наплавленого металу, наплавленого за традиційною технологією та із застосуванням теплового та електромагнітного екранів приведено на рисунку 3.3



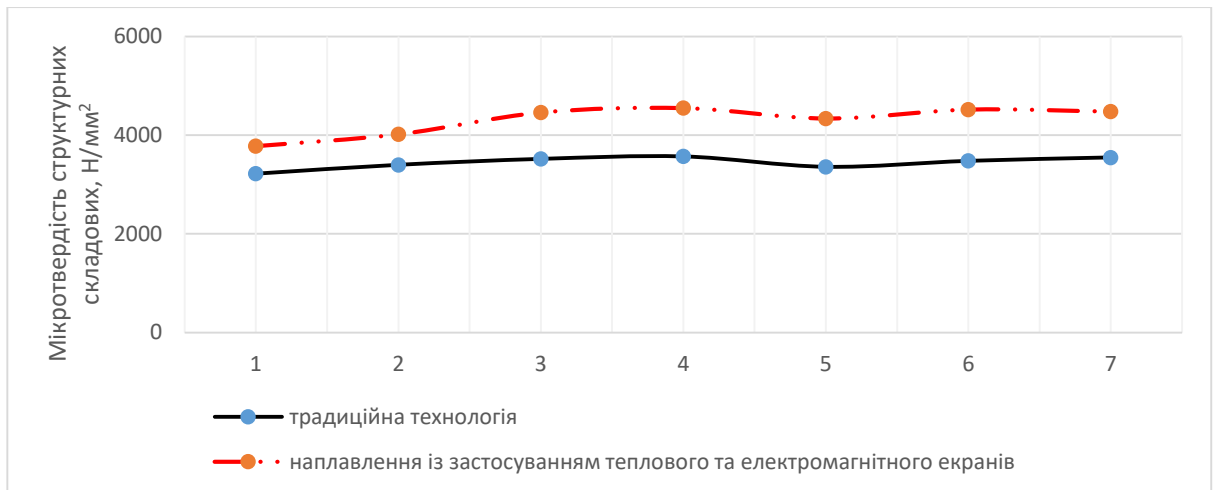
Рис. 3.2. Мікроструктура ( $\times 200$ , зменш.2/3) наплавленого металу: а – традиційна технологія одночасного наплавлення; б – із застосуванням теплового та електромагнітного екранів



а



б



в

Рис. 3.3 Дослідження мікротвердості структурних складових наплавленого металу: а – карбіди хрому; б – матриця; в – зона сплавлення

### 3.3. Дослідження відносної зносостійкості та товщини наплавленого металу

З метою підтвердження зносостійкості наплавленого шару порошкоподібним твердим сплавом, тобто стійкості до спрацювання, були проведені лабораторні дослідження на машині НК-М (рис. 3.4). Дана машина призначена для дослідження стійкості проти спрацювання наплавленого металу методом тертя по мідних кільцях у середовищі кварцового піску розмірами частинок 0,2...0,4 мм. Вона дозволяє одночасно проводити дослідження для шести зразків. Одним з них є еталон виготовлений із відпаленої сталі 45. Для проведення досліджень виготовляли спеціальні зразки розмірами 16x16x6 мм (рис. 3.5). Тертя здійснювалось по площині 16x6 мм шляхом – 413 м при питомому тиску на зразках – 0,466 МПа.

Так, як заготовка (основний метал) має товщину 5 мм і з наплавленим шаром товщиною порядку 0,5...1,0 мм, виникла необхідність у виготовленні спеціальних зразків [17] для проведення досліджень на зносостійкість з використанням машини НК-М. На першому етапі за допомогою фрезерного верстата вирізали заготовки із сталі Ст3 прямокутної форми розмірами 16x11,8x6 мм з допуском на шліфування (рис. 3.5). В нижній торцевій частині фрезерували прямокутний паз, в який запресовували з сторони основного металу Т-подібну заготовку (рис. 3.5) разом з наплавленим шаром. Після запресування проводили шліфування зразків до необхідних розмірів (16x16x6 мм) з водяним охолодженням, щоб запобігти структурним перетворенням у поверхневих шарах, що може призвести до похибки експерименту. Виготовленні зразки встановлювали в машину НК-М і проводили тертя, попередньо провівши зважування зразків. Після пройденого зразками необхідного шляху (413 м) їх знову зважували і таким чином визначали скільки металу зносилося під час випробувань.

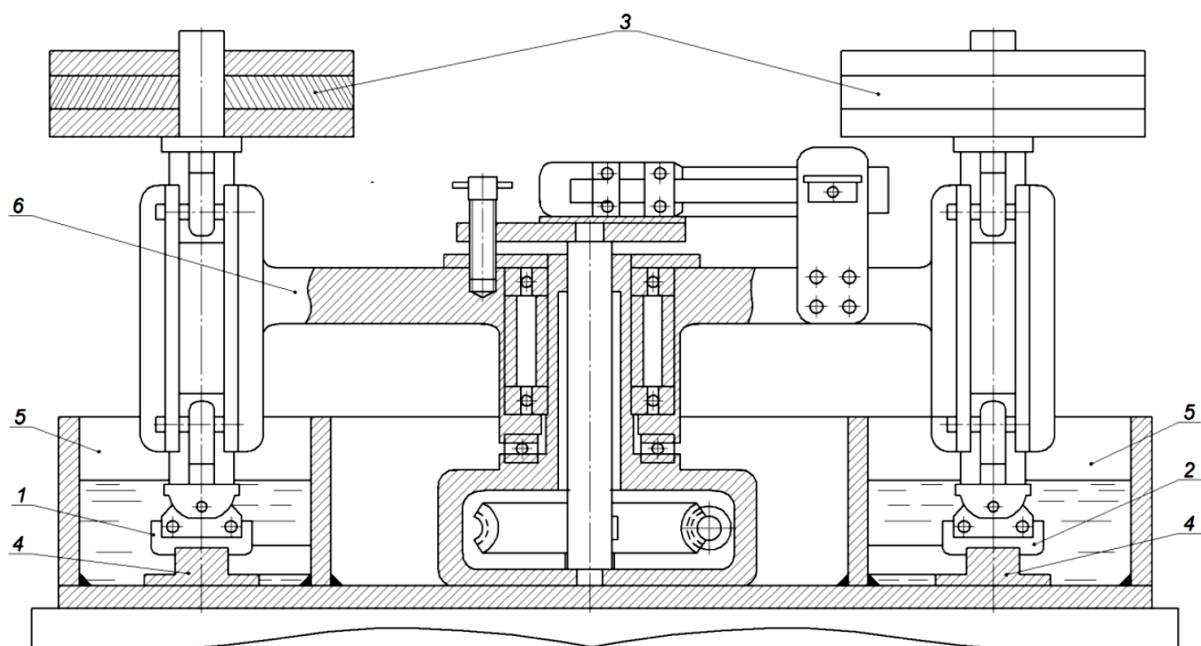


Рис. 3.4 Схематичне зображення машини НК-М: 1,2 – зразки, 3 – навантажувачі, 4 – мідний диск, 5 – ємність, 6 – штанга.

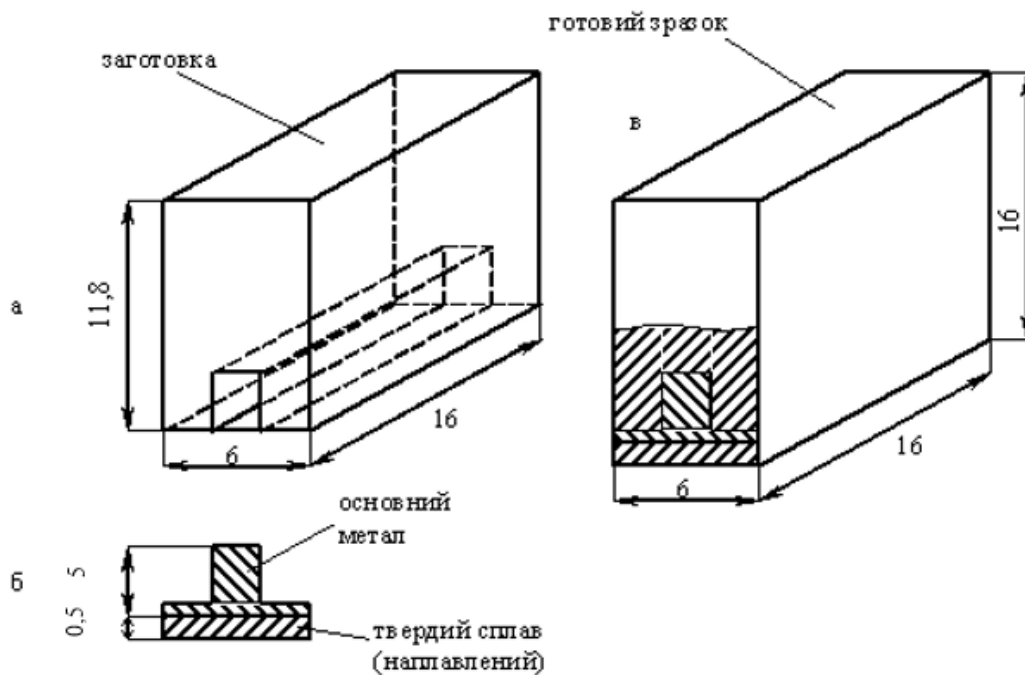


Рис. 3.5. Конструктивні розміри зразків для дослідження на зносостійкість: а – прямокутна заготовка; б – Т-подібна вставка з основним і наплавленим металом; в – готовий зразок

Результати досліджень виражали у вигляді відносної стійкості проти спрацювання, яка дорівнює відношенню втрати маси еталону до втрати маси досліджуваних зразків. Результати досліджень представлені на рис. 3.6.

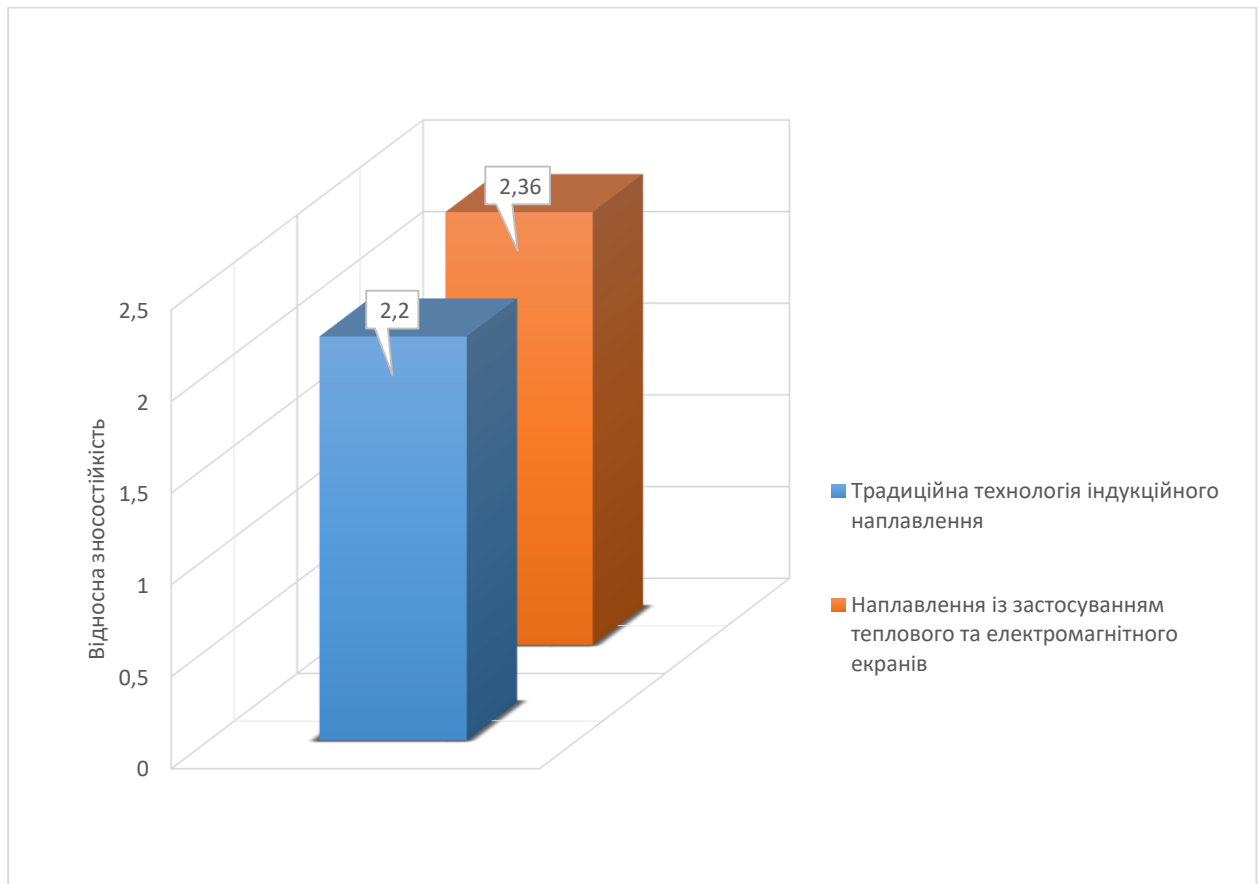


Рис. 3.6 Результати дослідження відносної зносостійкості наплавлених зразків

Як можна побачити із діаграми представленої на рис. 3.5 відносна стійкість проти спрацювання знаходиться майже на однаковому рівні, так для традиційної технології індукційного наплавлення вона становить 2,2, а при застосуванні теплового та електромагнітного екранів 2,36. Були проведені дослідження твердості наплавленого шару металу, які показали, що твердість для двох досліджуваних технологій ідентична і становить 60 HRC.

Однією із основних характеристик якості наплавлення та стійкості до спрацювання є рівномірність товщини шару наплавленого металу як по ширині зони наплавлення так і по довжині диска. З метою встановлення цих показників були проведені дослідження, за спеціально розробленою методикою, яка була розроблена та описана в літературі [18].

Суть методики дослідження рівномірності товщини шару наплавленого металу полягає в тому, що з протилежної сторони диска наносились напівсферичні виїмки в різних місцях протилежних наплавленню. Потім за допомогою мікрометра, який містить дві кульки, заміряли товщину диска до наплавлення. По такій самій схемі проводили замірювання наплавленого диска. Напівсферичні виїмки та кульки на мікрометрі потрібні для точного вимірювання товщини наплавленого металу. Товщину наплавленого металу визначали як різницю між товщинами. Обробку експериментальних вимірювань проводили за допомогою методів математичної статистики [18], результати які приведено на рис. 3.7.

Рівномірність товщини наплавленого металу в порівнянні з наплавленням без екранування збільшується на 12% за рахунок більш рівномірного розподілу потужності (температури) в зоні наплавлення, яка досягається за рахунок теплового і електромагнітного екранування, що особливо важливо при індукційному наплавленні, оскільки стійкий проти спрацювання порошкоподібний сплав розплавляється від поверхні основного металу.

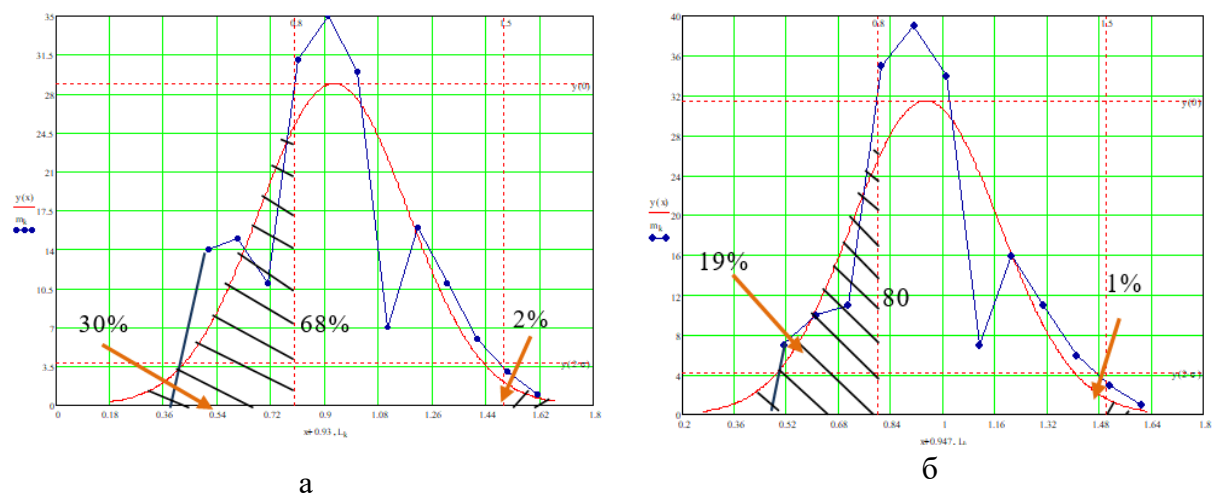


Рис. 3.7 Криві нормального розподілу товщини наплавленого металу наплавленого за традиційною технологією індукційного наплавлення (а) та при застосуванні теплового та електромагнітного екранів (б)

## **4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА**

### **4.1 Механізована лінія для індукційного наплавлення із застосуванням теплового та електромагнітного екранів**

З метою реалізації та механізації процесу індукційного наплавлення із застосуванням теплового та електромагнітного екранів відрізних дискових ножів, була модернізована існуюча лінія одночасного індукційного наплавлення тонких дисків (ножів-гичкорізів) по всій робочій поверхні [19]. При цьому були використані енергоощадний режим нагрівання, який реалізується по експоненціальному закону [20] та спосіб для одночасного індукційного наплавлення з використанням двохвиткового кільцевого індуктора [21].

Метою створення лінії для індукційного наплавлення із застосуванням теплового та електромагнітного екранів полягає у зменшенні енергозатрат, які витрачаються на наплавлення та підвищення рівномірності товщини шару наплавленого металу, а також зменшення часу наплавлення деталей з 32 с до 22 с. Дана лінія складається з поворотного стола на якому вмонтовані, за кількістю поворотних планшайб, двохвиткові кільцеві індуктори з жорстко закріпленими на них тепловим і електромагнітним екранами. Лінія також оснащена пристосуванням для під'єднання клем індуктора до високочастотного генератора, який розташований на основі лінії між поворотним столом та генератором. При такому під'єднанні клеми кожного індуктора розташовані по обидві сторони поворотної планшайби співвісно до осі повороту. Пристосування для під'єднання клем виконано у вигляді піднімальної плити з упором, яка має форму зрізаної піраміди, із пневмоциліндрами, що з'єднанні шарнірно та розташовані по обидві сторони упору. В шарнірному з'єднанні штоків та плита встановлюють діелектричні прокладки з мідними пластинами.

Загальний вигляд удосконаленої автоматичної лінії для індукційного наплавлення одночасно по всій робочій поверхні із застосуванням теплового



та електромагнітних екранів представлено на рисунку 4.1 (вигляд з боку).на  
рисунку 4.2 представлено вигляд удосконаленої лінії зверху.

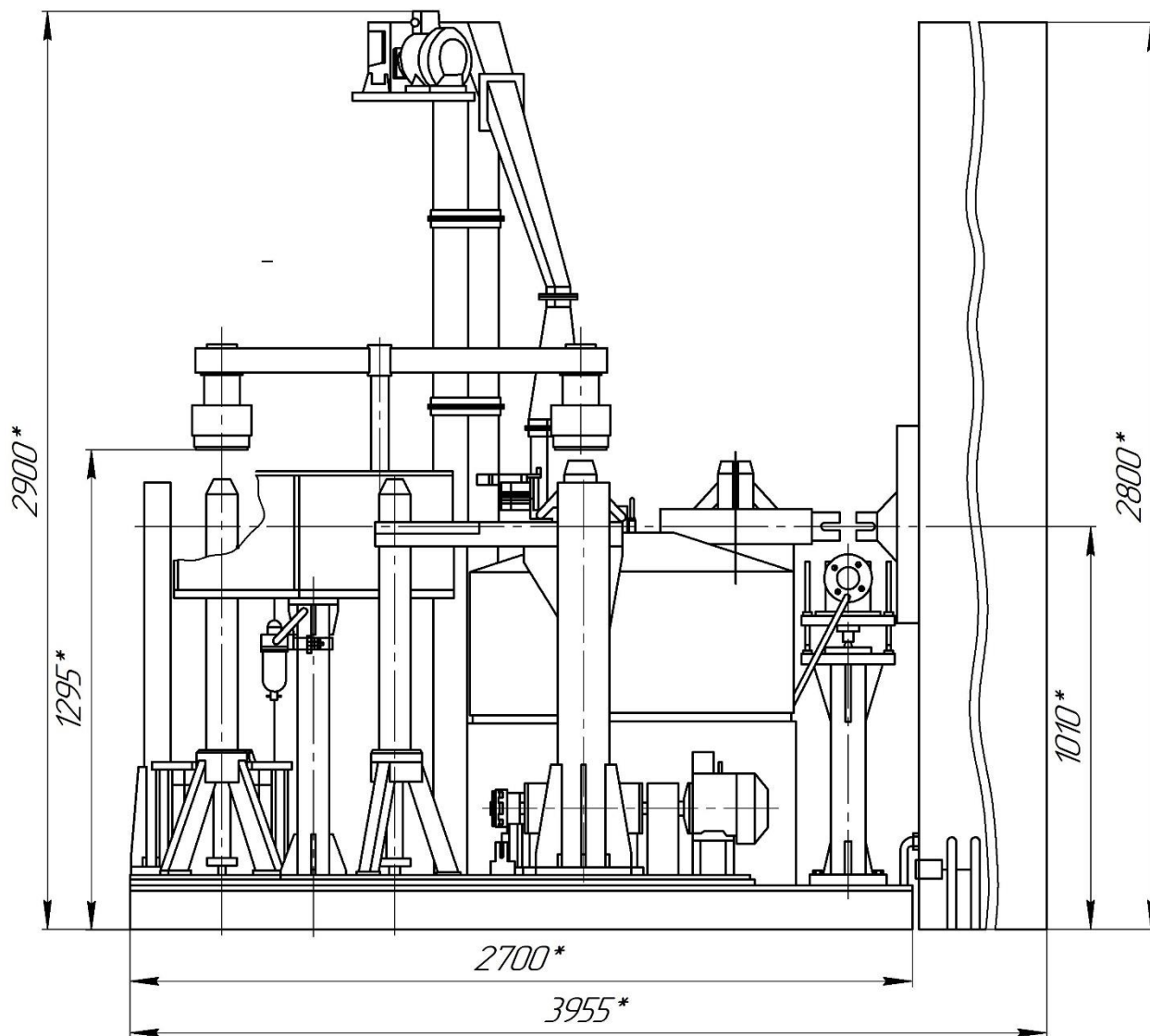


Рис. 4.1 Загальний вигляд автоматичної лінії наплавлення із  
застосуванням теплового та електромагнітного екранів з боку

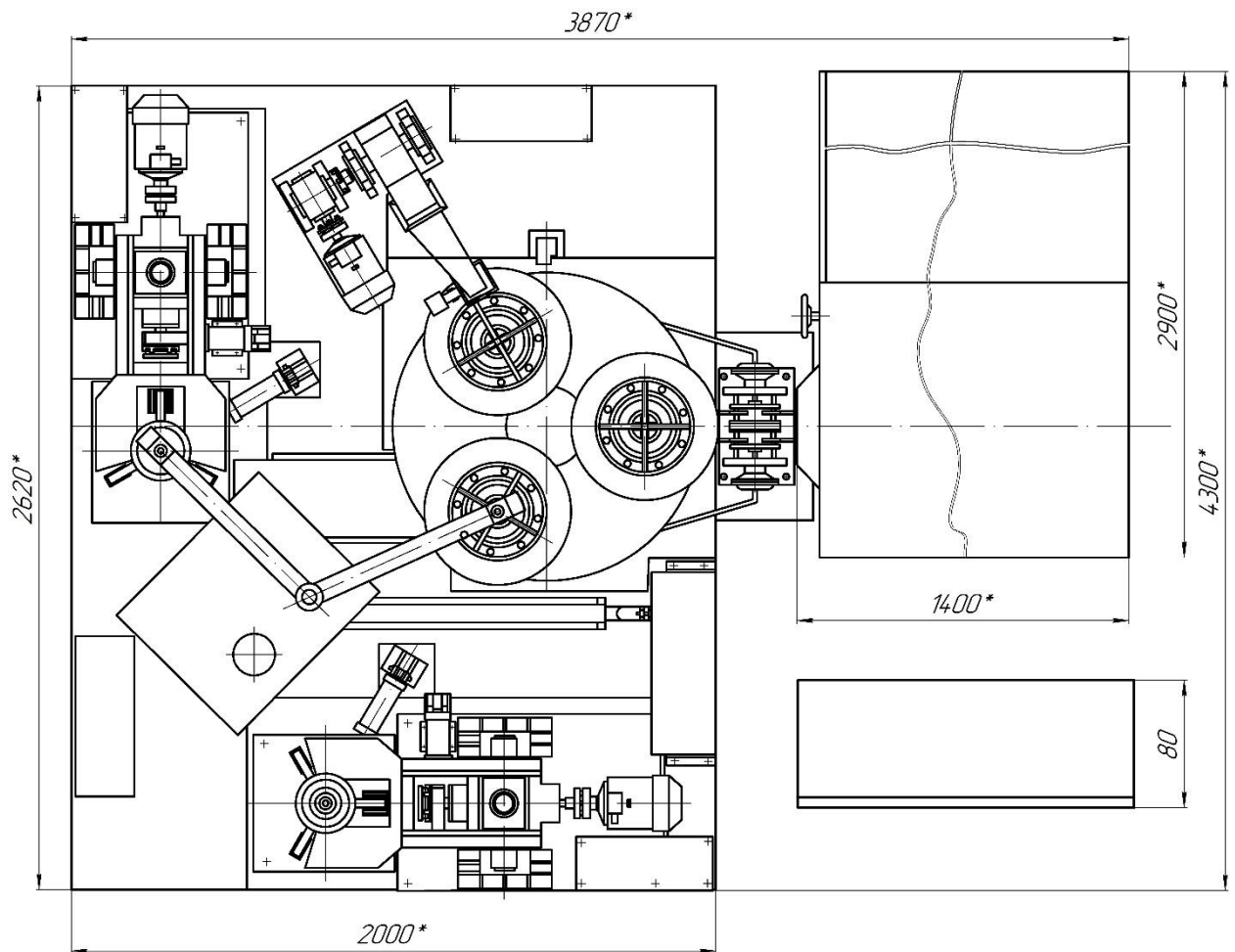


Рис. 4.2 Загальний вигляд автоматичної лінії зверху

Лінія складається з основи встановленої на фундамент та виготовленої з швелерів, які є основою каркасу, та металевих листів на яких розміщується інші елементи установки. На основі розташовані механізми завантаження і розвантаження деталей, засипання шихти, переміщення деталей на позиції, а також механізми видачі та приймання заготовок, високочастотного генератора та механізму під'єднання клем з генератором.

Представлена на рисунку 4.3 кінематична схема забезпечує механізовану роботу установки на всіх етапах процесу наплавлення, що дозволяє підвищити ефективність виробництва та зменшити кількість операторів-термістів.

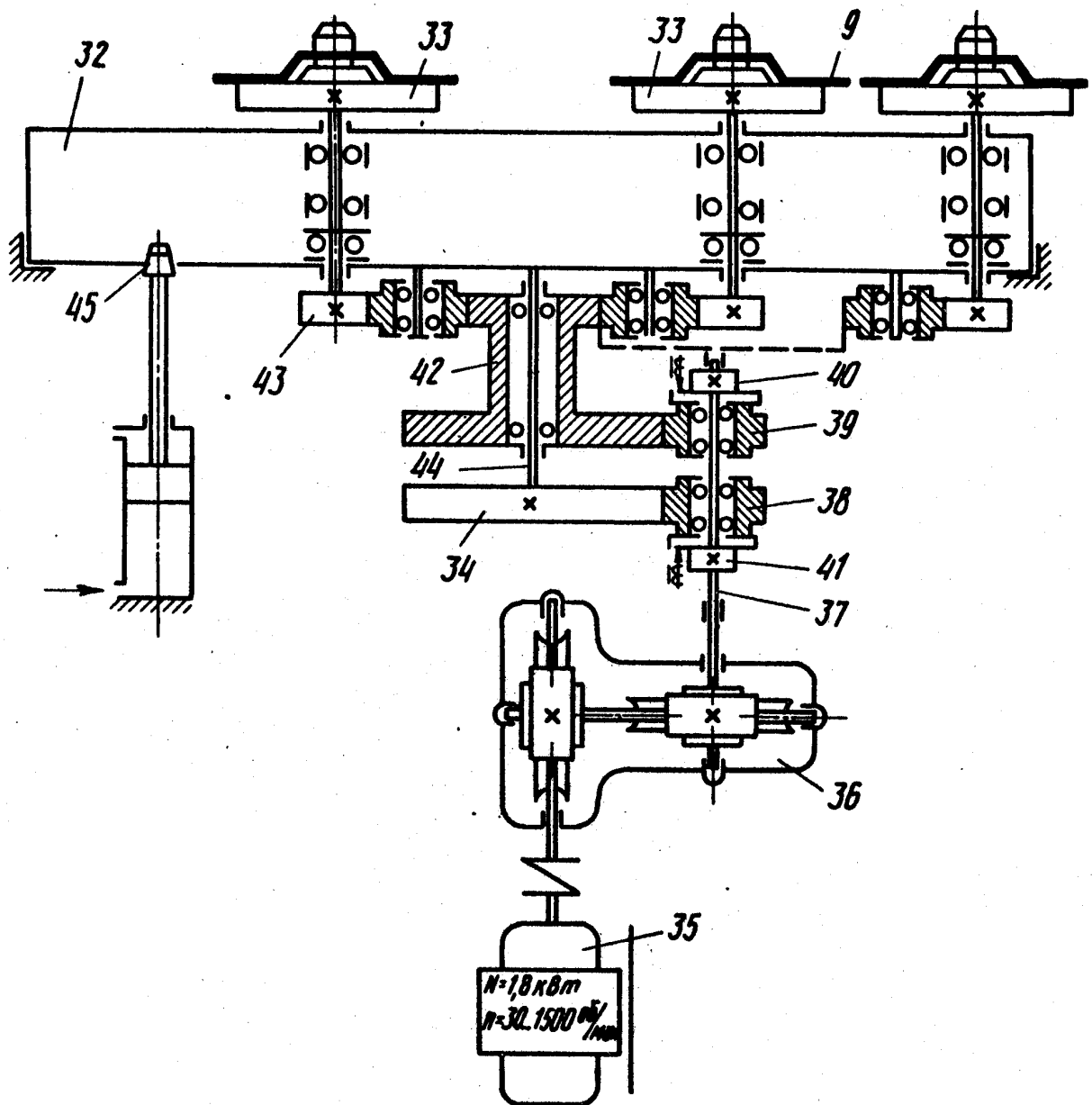


Рис. 4.3. Кінематична схема роботи поворотного стола установки

Механізм для завантаження та розвантаження деталей складається з коромисла на якому встановлені електромагніти. Коромисла за допомогою силового пневмоциліндра може переміщуватись вертикально та за допомогою електроприводу здійснювати обертові рухи. На рисунку 4.4 приведено загальний вигляд з розрізами механізму завантаження та розвантаження деталей.

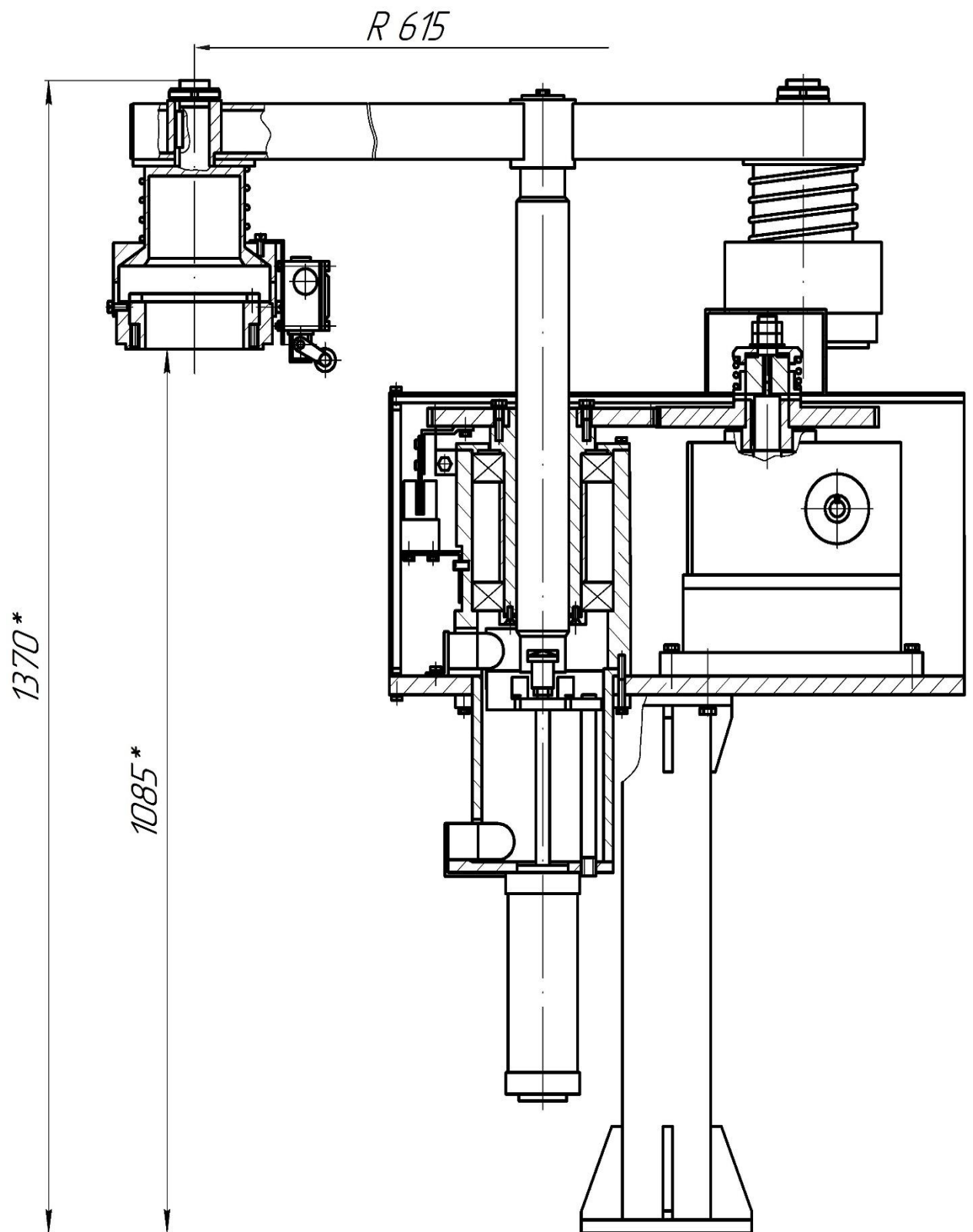


Рис. 4.4 Загальний вигляд механізму завантаження та розвантаження деталей

Механізм переміщення деталей по позиціям представляє собою поворотний стіл, в якому вмонтовані з три поворотні планшайби, за допомогою яких здійснюється базування деталей. Кінематична схема даного механізму забезпечує обертання поворотної планшайби на позиції засипання шихти за допомогою електроприводу поворотного стола, при цьому інші дві планшайби не обертаються. Кожна поворотна планшайба в процесі обертання стола оснащена зубчастою шестернею, яка на позиції засипання шихти заходить в зачеплення з електроприводом. На основі установки розміщений фіксатор, який взаємодіє з гніздами поворотного стола при кожному наступному обертанні (штопорить поворотний стіл).

Поворотні планшайби мають отвори, в яких встановлені та жорстко зафіксовані двохвиткові кільцеві індуктори з тепловим та електромагнітним екранами. Гнізда покриті діелектричним матеріалом, а витки індуктора розташовані по обидві сторони базової поверхні кожної поворотної планшайби. При цьому клеми індуктора виступають за межі поворотної планшайби. В отворах в яких встановлено нагрівальну систему виконані пази для просипання порошкоподібного твердого сплаву в приймальну воронку вакуумного відсмоктування. Таке виконання дозволяє зменшити витрати порошкоподібної шихти та спростити конструкцію механізму насипання шихти на деталь.

Для забезпечення електричного контакту між клемми індуктора та високочастотного генератора на основі розміщено механізм під'єднання клем (рис. 4.5), який складається із плити на якій змонтовано упором у вигляді зрізаної піраміди. Плита з упором переміщається у вертикальній площині за допомогою направляючих та пневмоциліндра. Для надійного контакту між клемми генератора та індуктора на плиті встановленні з обох боків пневмоциліндри, які здійснюють притискання клем індуктора до клем генератора. Штоки циліндрів притискання клем на кінцях мають діелектричні насадки.

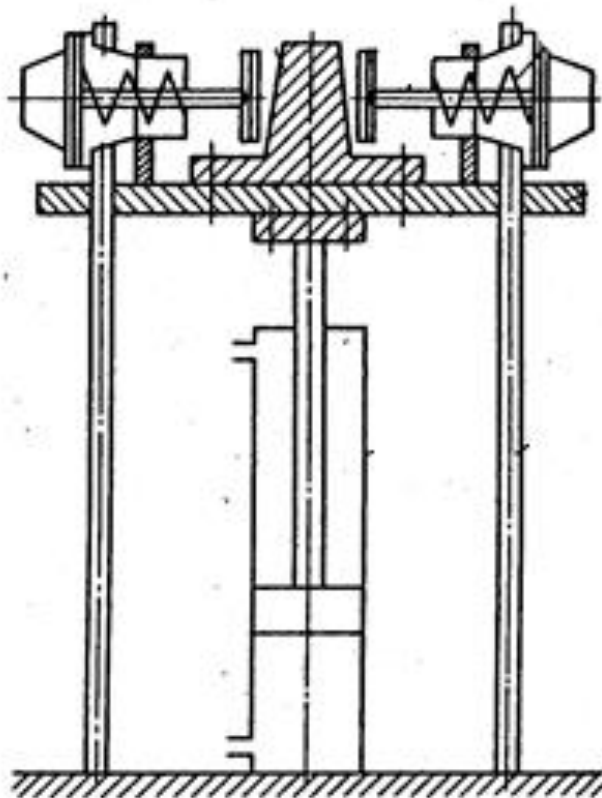


Рис. 4.5. Механізм з'єднання клем індуктора з високочастотним генератором

#### 4.2 Принцип роботи автоматичної лінії

Для роботи лінії спочатку встановлюють касету із заготовками дискових відрізних ножів у механізм поштучної подачі заготовок, а з протилежної сторони встановлюють порожню касету для відвантаження наплавлених деталей. Після встановлення касет вмикається привід установки та високочастотний генератор. Першим в дію вступає механізм подачі заготовок, коромисло якого опускається до взаємодії розташованого на ньому електромагніта з заготовкою диска. Проходить захоплення диска

електромагнітом і коромисло піднімається та разом із захопленим диском повертається на  $120^{\circ}$ . Коли коромисло досягло необхідного кута повороту, відбувається його опускання вниз за допомогою силового пневмоциліндра, відмикається живлення електромагніта і заготовка диска встановлюється у поворотну планшайбу. Коромисло повертається у вихідне положення і одночасно відбувається поворот стола з планшайбами до позиції засипання шихти. На цій позиції шестерня планшайби входить у зачеплення з електроприводом і відбувається поворот планшайби на один оберт, одночасно з цим проходить засипання шихти на необхідну ширину і висоту. Після того як планшайба зробила оберт проходить подальше обертання поворотного стола до позиції наплавлення. На цій позиції за допомогою спеціального притискного механізму здійснюється притискання диска до плити планшайби, і одночасно приводиться в дію механізм під'єднання клем генератора та індуктора. Коли клема під'єдналася вмикається живлення генератора і проходить процес наплавлення. Режим наплавлення встановлюється вручну, а керування виконує спеціальний пристрій за енергоощадним режимом (форсуючим), а також встановлюється час наплавлення. Після наплавлення проходить роз'єднання клем генератора та індуктора і здійснюється поворот стола на позицію розвантаження наплавленого диска. На цій позиції відбувається опускання коромисла механізму завантаження і розвантаження до захоплення диска електромагнітом. Це саме в той самий час відбувається на позиції завантаження. Коли електромагніт захопив диск, коромисло піднімається та повертається на  $120^{\circ}$ . Після повороту відбувається опускання коромисла і диск відвантажується в касету з наплавленими дисками та на поворотну планшайбу. І так процес повторюється.

### 4.3 Розрахунок прямозубої передачі обертання поворотних планшайб

Для розрахунку модуля прямозубої передачі необхідно підібрати таке значення коефіцієнта динамічності ( $K_{hv}$ ) для зубчастого зачеплення, котре б відрізнялося від розрахункового коефіцієнта динамічності ( $k_{gvr}$ ) для цього ж зачеплення не більше як на 0,001 ( $K_{hv}-k_{gvr}\leq 0.001$ ). Розрахунковий дільний діаметр шестерні – ( $d_{w1}$ ) знаходять із математичної залежності для розрахункових контактних напружень в зубах коліс:

$$\sigma_k = 12270 \times z_H \times z_\varepsilon \times \frac{1}{d_{w1}} \times \sqrt{\frac{T_1}{\psi_{bd} \times d_{w1}} \times \frac{u_H}{u} \times K_{hv} \times K_{h\beta}}.$$

Наступний крок – знаходження модуля прямозубої передачі з умови забезпечення контактної міцності зубів:

$$m = \frac{d_{w1}}{z_1}.$$

Міжосьової віддалі передачі:

$$a_w = (z_1 + z_2) \times \frac{m}{2}.$$

Відносної лінійної швидкості ковзання двох зубів у точці контакту:

$$v = \frac{\pi \times d_{w1} \times n}{60000}.$$

Визначення розрахункового коефіцієнта динамічності – ( $k_{gvr}$ ) для тих параметрів передачі, що отримані з врахуванням ( $K_{hv}$ ) здійснюють за формулою:

$$k_{gvr} = 0.98 + 0.014 \times v + \frac{3 \times a_w}{u \times 10000} + (st - 6) \times 0.02.$$

Провівши аналіз отриманих результатів, проводять повторний перерахунок модуля до тих пір, поки різниця між призначуваним коефіцієнтом динамічності – ( $K_{hv}$ ) та розрахунковим коефіцієнтом динамічності – ( $k_{gvr}$ ) не стане меншою за 0,001.



Описуємо комплекс вхідних даних, які є необхідними компонентами для опису інших розрахункових величин.

Крутний момент на шестерні:

$$T_1 := 180 \text{ Їм}$$

Допустимі контактні напруження:

$$\sigma = 600 \text{ МПа}$$

Число зубів шестерні:

$$z_1 := 55$$

Число зубів колеса:

$$z_2 := 78$$

Кількість обертів шестерні:

$$n = 200 \frac{\text{об}}{\text{год}}$$

Ступінь точності зубчатої передачі:

$$st := 7$$

Коефіцієнт який враховує форму спряжених поверхонь зубів:

$$z_n := 1.76$$

Відношення ширини вінця шестерні до початкового діаметра:

$$\psi_{bd} := 0.3$$

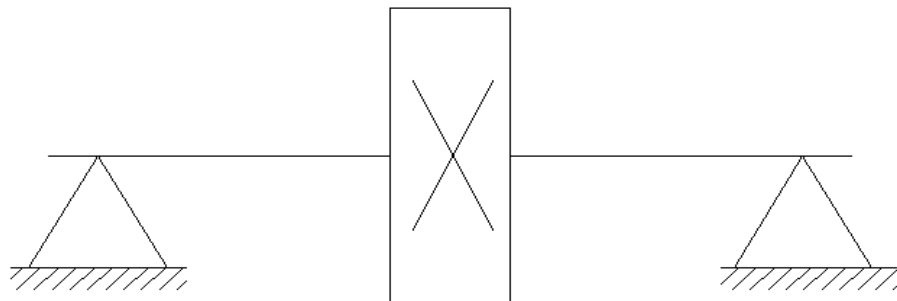


Рисунок 4.6 – Розміщення зубчатого колеса

Код розміщення передачі:

$kod := 1$

Виконуємо розрахунок проміжних параметрів:

Коефіцієнт торцевого перекриття:

$$\varepsilon\alpha := 1.88 - 3.2 \cdot \left( \frac{1}{z1} + \frac{1}{z2} \right)$$

Коефіцієнт, котрий враховує сумарну довжину контактних ліній:

$$z\varepsilon := \sqrt{\frac{4 - \varepsilon\alpha}{3}}$$

Визначаємо передаточне число прямозубої передачі:

$$(u > 1)$$

$$ur := \frac{z1}{z2} \quad u := \text{if} \cdot \left( ur < 1, \frac{1}{ur} \right) \quad un := u + 1$$

Коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження по ширині вінця з умови забезпечення контактної міцності зубів:

$$Kh\beta1 := 0.915 + 0.0588 \cdot \psi_{bd} + 0.799 \cdot \psi_{bd}^2 - 0.544 \cdot \psi_{bd}^3 + 0.17 \cdot kod$$

$$Kh\beta2 := 0.283 \cdot \psi_{bd} \cdot kod^2 + 0.0933 \cdot \psi_{bd} \cdot kod - 0.0474 \cdot kod^2 - 0.684 \cdot \psi_{bd} \cdot kod$$

$$Kh\beta := Kh\beta1 + Kh\beta2$$

Описуємо діапазон значень для призначуваних коефіцієнтів динамічності:

$$K := 1 \quad Khv := K, K + 1 .. K + 1$$

$$dw1(Khv) := \sqrt{\frac{12270^2 \cdot zn^2 \cdot z\varepsilon^2 \cdot T1 \cdot un \cdot Khv \cdot Kh\beta}{\psi bd \cdot u \cdot \sigma^2}}$$

$$mh(Khv) := \frac{dw1(Khv)}{z1} \quad v(Khv) := \pi \cdot dw1(Khv) \cdot \frac{n}{60000}$$

$$aw(Khv) := (z1 + z2) \cdot \frac{mh(Khv)}{2}$$

$$khv_r(Khv) := 0.98 + 0.014 \cdot v(Khv) + (st - 6) \cdot 0.02 + \frac{3 \cdot aw(Khv)}{(u \cdot 10000)}$$

Виконуємо графічну побудову залежності розрахункового коефіцієнта динамічності ( $khv_r$ ) від призначуваного коефіцієнта динамічності ( $Khv$ ), рисунок 4.7:

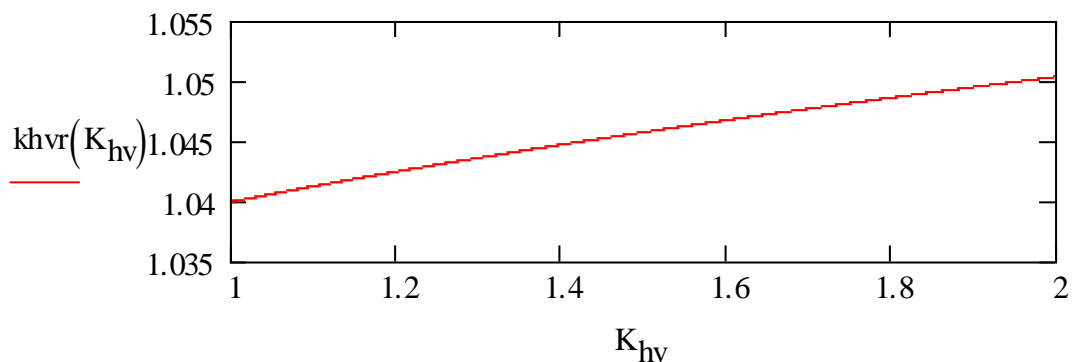


Рисунок 4.7 – Графік залежності розрахункового коефіцієнта динамічності ( $khv_r$ ) від призначуваного коефіцієнта динамічності ( $Khv$ )

Знаходимо величину призначуваного коефіцієнта динамічності, що якнайбільше відповідає розрахунковому.

$$a := 1.006, 1.0061 .. 2.1$$

$$sp := 1.005 \quad s := sp, (sp + 0.001) .. 2.1$$

$$c(s) := khv_r(s) - s \quad z(s) := 0$$

Отримаємо новий графік, котрий обов'язково буде перетинати нульову лінію. Отримана точка перетину – це є шукане значення коефіцієнта динамічності досліджуваної зубчатої передачі:

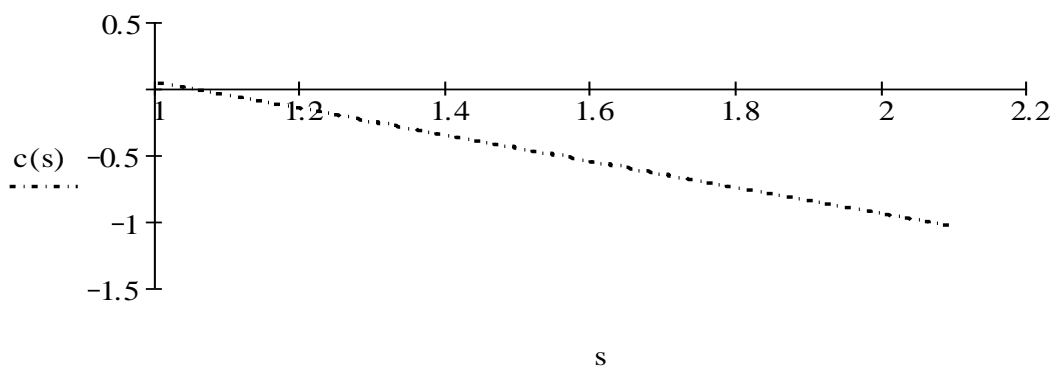


Рисунок 4.8 – Значення коефіцієнта динамічності

Визначаємо коефіцієнт динамічності:

$$s := sp$$

$$Khv := \text{root}(c(s), s) \quad Khv = 1.041$$

$$e(b) := khvr(b) - Khv \quad e(Khv) = -5.292 \times 10^{-6}$$

$$n(a) := \text{if}[(|e(a)|) < 0.001, a, 0]$$

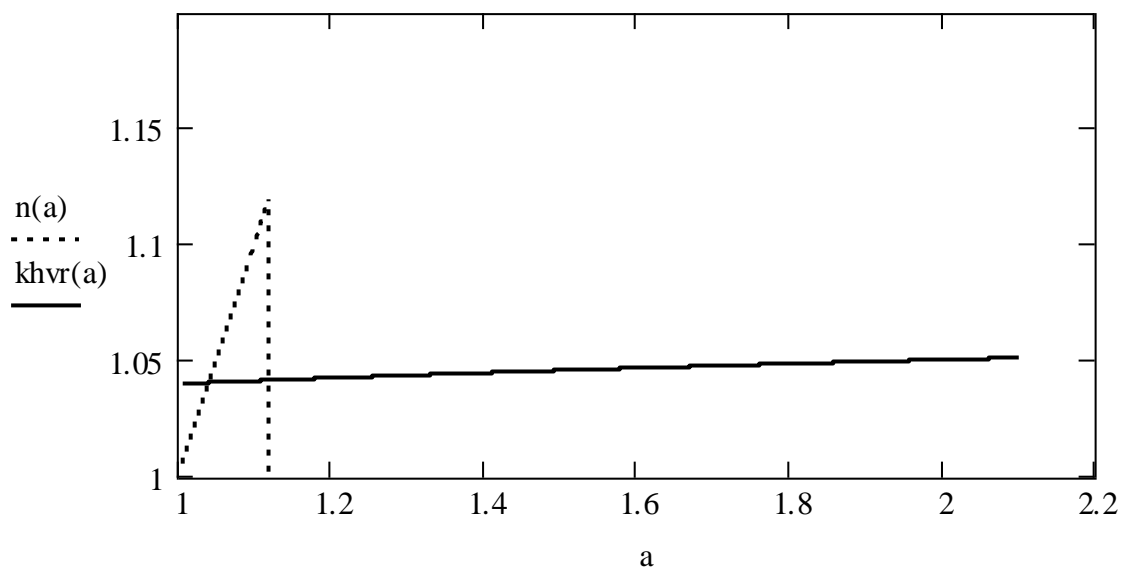


Рисунок 4.9 Визначення коефіцієнта динамічності

$$e(1.035) = -7.699 \times 10^{-5} \quad e(1.11) = 8.771 \times 10^{-4} \quad e(1.16) = 1.489 \times 10^{-3}$$

Діаметр шестерні по умові контактної міцності:

$$dw1 := \sqrt[3]{\frac{12270^2 \cdot zn^2 \cdot z\varepsilon^2 \cdot T1 \cdot Khv \cdot Kh\beta}{\psi bd \cdot u \cdot \sigma^2}}$$

Максимально допустимий модуль по контактних напругах:

$$mhr := \frac{dw1}{z1} \quad dw1 = 100.675 \quad mhr = 1.83$$

Коефіцієнт модуля для прямозубих передач  $km := 14$

Коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження по ширині вінця з умови забезпечення згинної міцності зубів:

$$Kf\beta1 := 0.759 + 1.081 \cdot \psi bd + 0.985 \cdot \psi bd^2 - 0.423 \cdot \psi bd^3 + 0.232 \cdot kod$$

$$Kf\beta2 := 0.380 \cdot \psi bd \cdot kod^2 + 0.313 \cdot \psi bd^2 \cdot kod - 0.0549 \cdot kod^2 - 1.022 \cdot \psi bd \cdot kod$$

$$Kf\beta := Kf\beta1 + Kf\beta2$$

Коефіцієнт, що враховує форму зуба шестерні:

$$Yf := 3.518 + \frac{6.0}{z1 - 10} - \frac{0.11}{z1 - 16} + (z1 - 60) \cdot 0.00034$$

Допустимі напруги по згину:

$$\sigma_f := 200 \quad \text{MPa}$$

Мінімально допустимий модуль по напругах згину:

$$mf := km \cdot \sqrt{\frac{T1 \cdot Kf\beta \cdot Yf}{z1^2 \cdot \psi bd \cdot \sigma_f}}$$

$$mf = 0.85 \quad \text{mm}$$

$$mhr = 1.83 \quad \text{mm}$$

Автоматизовано вибираю мінімально допустиме значення модуля із розрахункових та його приведення до найближчого більшого нормального

значення модуля прямозубого зубчатого зачеплення:

$$q := 1..5 \quad m_q := \quad qq := 6..7 \quad r := 8 \quad qqq := r..13 \quad j := 0..13$$

1
1.25
1.75
2
2.5

$$m_{qq} := m_4 + \frac{qq - 4}{2}$$

$$qr(qqq) := \text{if}[r \neq qqq, (qqq - r) + 1, 1]$$

$$m_{qqq} := m_7 + 2 \cdot qr(qqq) \quad \text{mod}_j := m_j$$

$$mr1(j) := \text{if}(mf < \text{mod}_j, \text{mod}_j, 0) \quad mr2(j) := \text{if}(mhr < \text{mod}_j, \text{mod}_j, 0)$$

$$m(j) := \text{if}(mr1(j) \neq 0, \text{if}(mr2(j) \neq 0, mr2(j), 0), 0)$$

mr1(j) =

0
1
1.25
1.75
2
2.5
3
3.5
5.5
7.5
9.5
11.5
13.5
15.5

mr2(j) =

0
0
0
0
2
2.5
3
3.5
5.5
7.5
9.5
11.5
13.5
15.5

m(j) =

0
0
0
0
2
2.5
3
3.5
5.5
7.5
9.5
11.5
13.5
15.5

#### 4.4 Економічна ефективність індукційного наплавлення

Застосування зміцнених робочих органів підвищує коефіцієнт стабільності регулювань, в якому враховуються витрати на ремонт, монтаж і демонтаж деталей, мастило і регулювання машини за час її експлуатації. В результаті застосування на плугах зміцнених відрізних дискових ножів

коефіцієнт стабільності регулювань підвищується на 64%. Це свідчить про зменшення обсягу ремонтних робіт і технічного обслуговування при експлуатації.

Остаточною оцінкою доцільності зміцнення є економічний показник, в якому поряд з додатковими витратами на виготовлення деталей з покращеними якість враховується ефект від їх використання при експлуатації [22].

У нових умовах планування і матеріального стимулювання підприємство проводить розрахунки ефективності підприємств, що підвищують якість продукції. При цьому ціна зміцнених деталей повинна бути такою, щоб можна було забезпечити прибуток на одиницю продукції не нижче, ніж при випуску деталей без зміцнення.

Різниця між фактичним і нормативним прибутком на одиницю виробу до зміцнення [22]:

$$P_a = (C_a - C_a)E_n \cdot K_a, \quad (41)$$

а після наплавлення

$$P_b = (C_b - C_b)E_n \cdot K_b, \quad (4.2)$$

де  $P_a$ ,  $P_b$ , - різниця між фактичною і нормативною доходами до і після наплавлення;

$C_a$ ,  $C_b$  - ціна одиниці продукції до і після наплавлення,  $C_a = 200$  грн.,  $C_b = 300$  грн.;

$S_a$ ,  $S_b$  - собівартість одиниці продукції до і після наплавлення,  $S_a = 250$  грн.,  $S_b = 150$  грн.;

$E_n$  - нормативний прибуток виробних фондів 65% з однієї деталі продукції,  $E_n = 18300 \cdot 65\% = 12000$  грн.;

$K_a$ ,  $K_b$  - питомі капітальні вкладення або виробничі фонди, віднесені до одиниці продукції,  $K_a = 600$  грн.,  $K_b = 400$  грн.;

Додатковий прибуток підприємства від проведення по підвищенню якості виробів визначається по формулі.

$$E = E_H \cdot (K_a - K_6) + (C_a - C_6) \div (Ц_6 - Ц_a), \quad (4.3)$$

$$E = \frac{12000 \cdot (600 - 400) + (250 - 150)}{(300 - 200)} = 24000 \text{ грн}$$

Для наплавлення використовується велика кількість зносостійких сплавів, що мають різну вартість. Найбільш зручно техніко-економічну ефективність застосування наплавочних матеріалів проводити за методикою, запропонованою В. Г. Колесовим [23]

При виборі сплаву для зміцнення конкретної деталі техніко-економічний ефект визначається для кожного варіанта наплавлення за формулою:

$$E_a = \left( \frac{C}{L} - \frac{C_H}{L_H} \right) \cdot L_0 \cdot n, \quad (4.4)$$

де  $C, C_H$  - собівартість стандартної і наплавленої деталі,  $C = 120$  грн,  $C_H = 170$  грн;

$L, L_H$  - обсяг виконаної роботи агрегатом до повного зносу стандартної і наплавленої деталі,  $L = 6000, L_H = 10000$ ;

$L_0$  - обсяг роботи, для якого визначається ефективність,  $L_0 = 5000$

$n$  - число деталей, встановлених на випробувальному агрегаті,  $n = 1000$

$$E_a = \left( \frac{120}{6000} - \frac{170}{10000} \right) \cdot 50 \cdot 1000 = 15000 \text{ грн.}$$

Відносна ефективність  $E$ , визначається з відношення:

$$E = \left( \frac{Ck}{C_H} \right), \quad (4.5)$$

де  $K$ -коефіцієнт відносної зносостійкості, визначається за формулою:

$$k = \left( \frac{L_k}{L} \right), \quad (4.6)$$

$$k = \left( \frac{10000}{6000} \right) = 1,6$$

Тоді:

$$E = \left( \frac{120 \cdot 1,6}{170} \right) = 1,13$$

Відносна ефективність – 1,1



Визначаємо собівартість наплавленої деталі:

$$C_H = C + Q_H \cdot k_M \cdot C_M + (b_H \cdot t_H + b_n \cdot t_n) \cdot (1 + H) + Q_H \cdot k_\Phi \cdot C_\Phi, \quad (4.7)$$

$$C_H = 120 + 0,15 \cdot 1,12 \cdot 100 + (100 \cdot 0,14 + 100 \cdot 0,06) \cdot (1 + 3) + 0,15 \cdot 0,2 \cdot 100 = 170 \text{ грн.}$$

$Q_H$  - вага зносостійкого сплаву, наплавленого на одну деталь, в кг.,  
 $Q_H = 0,15$  кг.;

$k_M$  - коефіцієнт, що враховує втрати сплаву;  $k_M = 1,08 - 1,12$ ;

$k_\Phi$  - коефіцієнт, що враховує кількість флюсу у шихті;  $k_\Phi = 0,12-0,2$ ;

$C_M$  і  $C_\Phi$  - ціна 1 кг наплавочного матеріалу і флюсу в грн.,  
 $C_M = C_\Phi = 100$  грн.;

$b_H$ , і  $b_n$ , - годинна тарифна ставка терміста і робочих, додатковими підготовчими операціями,  $b_H = b_n = 100$  грн / год.;

$t_H, t_n$  - тривалість наплавлення та підготовчий час в год на 1 деталь,  
 $t_H = 22$  с;  $t_n = 50$  с.;

$H$  - коефіцієнт, що враховує накладні витрати;  $H = 1,5 \dots 3$ .

Показники техніко-економічної ефективності застосування індукційного наплавлення представлено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Показники техніко-економічної ефективності наплавлення

Наплавлений матеріал	Ціна сплаву $C_M$ грн/кг	Розхід сплаву $Q_H$ кг	Коефіцієнт розрахований на втрати сплаву $k_M$	Коефіцієнт флюсу в шихті $k_\Phi$	Собівартість $C_H$ , грн	Ефективність $E_o$
ПГ-С1	100	0,15	1,1	0,2	170	1,13

## **5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **5.1 Розрахунок захисного заземлюючого пристрою для спроектованого цеху (дільниці)**

Захисне заземлення є ефективною мірою захисту при живленні електроустаткування від електричних мереж напругою до 1000 В з ізольованою нейтраллю і напругою більше 1000 В з любым режимом нейтралі.

У відповідності ПУЕ захисне заземлення потрібно виконувати при паузі напруги змінного струму 380 В і більше і напруги постійного струму 440В і більше у всіх електроустановках; при номінальній напрузі змінного струму більше 42 В і напрузі постійного струму більше 110 В - тільки в електроустановках, які розміщені в приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних, а також у зовнішніх установках; прилюбій напрузі змінного і постійних струмів, у вибухонебезпечних установках.

Захисна дія заземлення основана на зниженні напруги дотику, що досягається шляхом зменшення потенціалу на корпусі устаткування відносно поверхні землі.

Заземлюючим пристроєм називається наявність заземлювача (металевого провідника чи групи провідників, які безпосередньо знаходяться в контакті із землею) і заземлюючих провідників, які з'єднують частини електроустановки із заземлювачем.

Матеріалом захисного заземлюючого пристрою є сталь. В залежності від розміщення заземлювачів по відношенню до устаткування, яке заземлене – заземлення буває виносне і контурне.

Метою розрахунку є визначення кількості і розмірів заземлювачів і складання плану розміщення заземлювачів.

Розрахунок захисного заземлюючого пристрою проводимо за [24].

Завдання: розрахувати захисне заземлення дільниці з виробничими установками, які живляться від мережі напругою 380В з ізольованою

нейтраллю. В якості електродів – заземлювачів приймаємо сталеві трубки (кутники) довжиною  $l$  і діаметром  $d$ , які з'єднані між собою сталевією стрічкою шириною  $e = 0,04$  м. Коефіцієнти використання заземлювачів  $\eta_3$  і з'єднувальної стрічки  $\eta_c$ . Крок між заземлювачами рівний  $d$ . Заглиблення верхнього кінця трубки і з'єднувальної стрічки  $H = 0,7$  м. Питомий опір ґрунту  $\rho$ .

Дано:  $\rho = 150$  Ом м;  $l = 3$  м;  $a = 0,045$  м;  $d = 6$  м;  $\eta_3 = 0,74$ ;  $\eta_c = 0,75$ .

Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту  $\rho_p$  в якому має бути розміщений заземлювач за формулою:

$$\rho_p = \rho \cdot \psi, \quad (5.1)$$

де  $\psi$  - кліматичний коефіцієнт, який вибирається в залежності від вологості ґрунту,  $\psi = 1,32$ .

Звідси:

$$\rho_p = 150 \cdot 1,32 = 198 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Визначаємо опір розтікання струму одного вертикального заземлювача (труби), заглибленого нижче рівня землі на  $H = 0,7$  м за формулою:

$$R_3 = \frac{\rho}{2 \times \pi \times l} \times \left( l_n \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} l_n \frac{4t + l}{4t - l} \right), \quad (5.2)$$

де,  $t = H + 0,5 \times l$  - відстань від поверхні ґрунту до середини труби;

$$t = 0,7 + 0,5 \times 3 = 2,2 \text{ м}$$

Звідси:

$$R_3 = \frac{150}{2 \times 3,14 \times 3} \times \left( l_n \frac{2 \cdot 3}{0,045} + \frac{1}{2} l_n \frac{4 \cdot 2,2 + 3}{4 \cdot 2,2 - 3} \right) = 41,7 \text{ Ом}.$$

Визначаємо необхідну кількість заземлювачів за формулою:

$$n = \frac{R_n}{R_1 \times \eta_3}, \quad (5.3)$$

де  $R_n$  – нормований опір заземлюючого пристрою (ПУЕ).

Звідси:

$$n = \frac{41,7}{4 \times 0,74} = 14.$$

Визначаємо опір розтікання струму з'єднувальної смуги за формулою:

$$R_c = \frac{\rho}{2 \times \pi \times L_c} \times l_n \frac{2 \times L_c}{\hat{a} \times H}, \quad (5.4)$$

Звідси:

$$R_c = \frac{150}{2 \times 3,14 \times 81,9} \times l_n \frac{2 \times (81,9)^2}{0,04 \times 0,7} = 3,81 \text{ Ом}.$$

Визначаємо довжину з'єднувальної смуги, якщо електроди розміщені в ряд:

$$L_c = 1,05 \cdot d \cdot (n-1). \quad (5.5)$$

Якщо, смуги розміщені по контуру, то:

$$L_c = 1,05 \cdot d \cdot n = 1,05 \cdot 6 \cdot 14 = 88,2 \text{ м};$$

$$L_c = 1,05 \cdot 6 \cdot (14-1) = 81,9 \text{ м}.$$

Визначаємо загальну величину опору розтікання струму заземлюючого пристрою за формулою:

$$R_{зп} = \frac{R_3 \times R_c}{R_3 \times \eta_{п} + R_c \times \eta_3 \times n}, \quad (5.6)$$

$$R_{зп} = \frac{41,7 \cdot 3,81}{41,7 \cdot 0,46 + 3,81 \cdot 0,74 \cdot 14} = 2,708 \text{ Ом}.$$

Величина опору штучних заземлювачів задовольняє вимогу  $R_{зп} \leq 4 \text{ Ом}$ .

## 5.2 Заходи для захисту від ураження електричним струмом

Основними вимогами безпеки, що ставляться до конструкції машин та механізмів, є безпека для здоров'я та життя людей, надійність та зручність експлуатації.

Загальні вимоги до виробничих процесів регламентуються Стандартами. Вони передбачають: усунення безпосереднього контакту працівників з вихідними матеріалами, заготовками, напівфабрикатами,

готовою продукцією та відходами виробництва, котрі спричиняють небезпечну дію.

Оскільки при виготовленні леміша є можливість ураження оператора електричним струмом, опіків від розплавлених частин металу чи шлаку, наявності рухомих частин приводу лінії і забруднення атмосфери.

Ураження струмом високої частоти можливе, коли машина незаземлена, чи при пробої трансформатора, при перемиканні напруги без вимкнення трансформатора від мережі. У зварювальних трансформаторах передбачаються системи блокування, що запобігають ураженню струмом високої напруги, наприклад закрито доступ до перемикача при не вимкненому первинному колі; дверцята шаф, пультів, станин з відкритими струмоведучими частинами, що перебувають під напругою, мають блокування, що забезпечує зняття напруги при їх відкриванні.

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є:

- 1 уникнення контакту людини з струмоведучими частинами, які знаходяться під напругою;
- 2 уникнення небезпеки ураження електричним струмом при можливій появі напруги на корпусах та інших частинах електрообладнання;
- 3 забезпечення недоступності струмоведучих частин для випадкового доторкання;
- 4 використання ізоляції струмоведучих частин;
- 5 використання методів колективного захисту від ураження електричним струмом:
- 6 захисного заземлення, занулення та автоматичного відключення;
- 7 періодична перевірка опору заземлення;
- 8 контроль та профілактика пошкоджень ізоляції.

Уникнення випадкового контакту людини з струмоведучими частинами електрообладнання забезпечується ізоляцією струмоведучих частин. Стан ізоляції характеризується її електричною міцністю,

діелектричними втратами та електричним опором. Ізоляція запобігає протіканню струмів через неї завдяки великому опору.

Для уникнення небезпеки при ураженні електричним струмом, а також при появі напруги на корпусах та інших частинах електрообладнання необхідно застосовувати захисне заземлення.

Для електроустановок, що живляться напругою до 1000 В від мереж малої довжини з малими струмами замикання на землю (не більше 5 А), опір заземлювального пристрою повинен бути не більше 4 Ом. До таких мереж на підприємствах відносяться мережі з напругою 380/220 В, прокладені на території підприємств від трансформаторних підстанцій для живлення споживачів електроенергії й освітлювальних установок підприємства.

Якщо електроустановка живиться від винесених трансформаторів і генераторів потужністю до 100 кВА опір заземлювального пристрою повинен бути не більшим 10 Ом. Такі мережі мають малу довжину і розгалуженість, а струми замикання на землю в них не перевищують 0,1-0,2 А. До таких мереж відносяться мережі живлення від дизель-генераторних установок (під час аварій у міських системах електропостачання).

Допоміжне з'єднання з землею нейтральних точок обмоток генераторів, силових і вимірювальних трансформаторів, дугогасних апаратів та інших ланцюгів для забезпечення нормальної роботи електроустановок називається робочим заземленням. Заземлення для захисту від розрядів статичної й атмосферної електрики здійснюється для відводу цих зарядів у землю.

Захисному заземленню підлягають металеві не струмоведучі частини обладнання, котрі через несправність ізоляції можуть опинитися під напругою і до котрих можливі дотики людей [24].

### 5.3 Вимоги до стійкості функціонування промислового підприємства

З метою забезпечення стійкості роботи виробничого підприємства в надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу завчасно проводиться комплекс організаційних і інженерно-технічних заходів цивільної оборони, спрямованих на забезпечення захисту населення і зменшення руйнувань, на підвищення стійкості роботи об'єкту, на утворення необхідних умов для проведення рятувальних і інших невідкладних робіт [25].

Основні заходи по підвищенню стійкості, які проводяться на об'єктах у мирний час, передбачають: захист робітників та службовців і інженерно-технічного комплексу від наслідків стихійного лиха, аварій (катастроф), а також первинних та вторинних факторів ураження ядерного вибуху; забезпечення надійності управління та матеріально-технічного забезпечення; світломаскування об'єкту; підготовку його до відновлення порушеного виробництва та переведення на режим в умовах надзвичайних ситуацій [25].

Кожний об'єкт в залежності від особливостей його виробництва і інших характеристик має свою специфіку. Але об'єкти мають багато спільного: виробничий процес здійснюється, як правило, в середині споруд і будівель, самі споруди в більшості випадків виконані з уніфікованих елементів, територія об'єкту насичена інженерними, комунальними і енергетичними лініями, густина забудови по багатьох об'єктах становить 30-60 %. Все це дає підставу вважати, що для всіх виробничих об'єктів, незалежно від профілю виробництва і призначення, характерні загальні фактори, які впливають на підготовку об'єкта до роботи в надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу. До цих факторів належать: район розміщення об'єкту, внутрішнє планування і забудова території об'єкту, системи енергопостачання, технологічний процес, виробничий зв'язок об'єкту, системи управління, підготовленість об'єкту до відбудови виробництва та інше [25].

Район розміщення об'єкту вивчається за картою. Проводиться аналіз топографічного розміщення об'єкту: характер забудови території, яка оточує

об'єкти; наявність на цій території підприємств, які можуть бути джерелами виникнення вторинних факторів ураження, природні умови навколишньої місцевості; наявність шляхів та інше.

При вивченні споруд і будівель об'єкту дається характеристика споруд основного і допоміжного виробництва; споруд, які не будуть використані у виробництві основної продукції в надзвичайних ситуаціях.

При оцінці внутрішнього планування території об'єкту визначається вплив густоти і типу забудови, можливість виникнення і розповсюдження пожежі, створення завалів входів у сховища і проходів між спорудами.

Вивчення технологічного процесу проводиться з розрахунком специфіки виробництва і змін у виробничому процесі в надзвичайних ситуаціях (можлива зміна технології, часткова зупинка виробництва, переключення на виробництво нової продукції) [25].

Дослідження системи управління об'єктів проводиться на основі вивчення стану пунктів управління і вузлів зв'язку, надійності системи управління виробництвом, надійності зв'язку з позаміською зоною, розстановки сил, забезпечення керівництва виробничою діяльністю об'єкту в усіх підрозділах підприємства.

При аналізі системи матеріально-технічного постачання дається коротка характеристика цієї системи в нормальних умовах і можливих змін в зв'язку з переходом на випуск нової продукції, встановлюється залежність виробництва від постачальників, виявляються найбільш важливі поставки сировини, деталей і комплектуючих виробів, без яких виробництво не може продовжуватись.

Підготовка об'єкту до відбудови виробництва визначається на основі вивчення характеру виробництва, складності його устаткування, підготовленості персоналу до відбудовних робіт, запасів матеріалів, деталей та устаткування [25].



## ВИСНОВКИ

В даній роботі проведено обґрунтування параметрів технологічного процесу наплавлення тонких плоских деталей з використанням енергоощадних джерел і режимів наплавлення, на прикладі наплавлення відрізних дискових ножів. Для цього розроблено технологічний процес індукційного наплавлення на енергоощадному (форсуючому) режимі із застосуванням теплового та електромагнітного екранів.

Експериментально встановлено, що при застосуванні форсуючого режиму наплавлення витрати електроенергії на наплавлення одного відрізного дискового ножа становить 0,308кВт год та 0,261 кВт год відповідно при наплавленні за традиційною технологією та при застосуванні теплового і електромагнітного екранів. Також, застосування екранів призводить до зменшення часу наплавлення на 10 с і підвищення рівномірності товщини шару наплавленого металу на 12%.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Пулька Ч.В. Наплавка рабочих узлов почвообрабатывающей и уборочной сельскохозяйственной техники [текст] // Автомат. сварка. – 2003. – № 8. – С. 36-41.
- 2 А.А. Боль Розвийте индукционной напави в сельскохозайственим машиностроении. – М.: ЦРИИТЭИ тракторсельхозмаш. Технология, 1984. – Вып.3. – 38.
- 3 Пулька Ч.В. Ресурсозберігаюча технологія індукційного напавлення деталей сільськогосподарських машин [текст] //Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка/ Пулька Ч.В., Підгурський М.І., Базар М.С., Сенчишин В.С.; - 2010. -№96. –С.46-55.
- 4 Пулька Ч.В. А.І. Горішний, І.Ф. Дудич, Т.М. Струсь. Застосування індукційного напавлення при виготовленні деталей сільськогосподарських машин / Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 25-26 листопада 2020. С.16-17.
- 5 V.S. Senchishin, Ch.V. Pulka [Modern methods of surfacing the tools of agricultural tillers and harvesters](#) / Paton Welding Journal, №9-2012. С.43-49.
- 6 Д.Г. Войтюк, Л.В. Аніскевич, В.М. Мартишко, В.М. Барановський . Сільськогосподарські машини: підручник / Агроосвіта, 2015 – 678 с.
- 7 Марочник сталей и сплавов: справочник / под ред. В.Г. Сорокина. - М.: Машиностроение, 1989, - 640 с.
- 8 Калиник Л.Н., Гринберг Н.А., Густов Ю.И. Повышение долговечности рабочих органов земснарядов износостойкой наплавкой / Наплавка при изготовлении деталей машин и оборудования. – Киев, 1986. – С.89-91.
- 9 Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин.[текст]/Ткачев В.Н – М.:Машиностроение, 1971.- 264 с.

- 10 Шаблій О.М. Режими індукційного наплавлення деталей із урахуванням використання екранування теплових і електромагнітних полів / Шаблій О.М., Пулька Ч.В., Гаврилюк В.Я., Сенчишин В.С. // Вісник ТНТУ імені Івана Пулюя, №1(73). –2014. – С. 109–118.
- 11 О.М.Шаблій Математична модель оптимізації конструктивних параметрів нагрівальної системи з урахуванням комбінованого екранування теплових та електромагнітних полів [текст] // Вісник Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя/ О.Шаблій, Ч.Пулька.;– 2007.– №2.– С.66-76
- 12 <http://tdinduktor.ru/index.php/features/item/3-vysokochastotnye-generatory/16-vysokochastotnyj-generator-vchg3-160-0-066>
- 13 <http://www.polema.net/vysokouglerodistye-splavy-dlja-pokrytij.html>
- 14 <http://aramis.com.ua/oborudovanie/stanki-lazernoy-rezki/lc-pro.html>
- 15 Шаблій О.Н. Оптимизация параметров индуктора для равномерного нагрева дисков по ширине зоны наплавки с учетом экранирования [текст] // Автомат. сварка. / Шаблій О.Н., Пулька Ч.В., Письменный А.С. – 2002. – № 11. – С. 24-26.
- 16 Пулька Ч.В. Влияние режимов индукционно наплавки на толщину наплавленного слоя и величину деформации тонких стальных дисков / Автомат. Сварка – 1997. - №10. – С. 57-58.
- 17 Шамрук Ю.Г. Обґрунтування параметрів технологічного процесу індукційного наплавлення з використанням енергоощадного режиму: дипломна робота магістра за спеціальністю „131 — прикладна механіка“ / Ю. Г. Шамрук. — Тернопіль: ТНТУ, 2019. — 104 с.
- 18 Колкер Я.Д. Математический анализ точности механической обработки деталей. – Киев: Техніка, 1976 – 200 с.
- 19 Патент 55350 UA, МПК В23К 37/04. Автоматична потокова лінія для наплавлення тонкостінних фасонних дисків / Будзан Богдан Павлович, Пулька Чеслав Вікторович, Мисула Мирон Антонович, Дячук Степан Федорович, Шаблій Олег Миколайович (Україна) - опубл. 17.03.2003.

- 20 О.М. Шаблій Енергоощадна нагрівальна система для індукційного наплавлення тонкостінних елементів конструкцій [текст] // Вісник Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя/ О.Шаблій, Ч.Пулька, Базар М;– 2009.– №3.– С.91-96.
- 21 Патент 55349 UA, МПК В23К 13/00. Спосіб наплавлення тонкостінних фасонних дисків / Пулька Чеслав Вікторович, Скочило Василь Михайлович, Шаблій Олег Миколайович, Будзан Богдан Павлович (Україна) - опубл. 17.03.2003.
- 22 Шпак Р.І. Техніко–економічне обґрунтування інженерних рішень: методичні вказівки до виконання організаційно–економічної частини дипломних проєктів [текст] / Р.І. Шпак.– Тернопіль, 2006–29с.
- 23 Ткачев В.Н., Фиштейн Б.М., Казинцев Н.В., Алдырев Д.А. Индукционная наплавка твердых сплавов/– М.:Машиностроение, 1970.- 177 с.
- 24 Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві Навчальний посібник. [Текст] / О.Г. Левченко – К.: Основа, 2010. – 240 с.
- 25 Стеблюк М.І. С79 Цивільна оборона. Підручник. – К.: Знання, 2006 – 487

# ДОДАТКИ