

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

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

інжинірингу машинобудівних технологій
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Обґрунтування параметрів технологічного процесу наплавлення
деталей ґрунтообробних машин з моделюванням їх напружено-
деформованого стану

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

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Струсь Т.

(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 індукційного наплавлення деталей ґрунтообробних машин з моделюванням їх напружено-деформівного стану" складається із розрахунково-пояснювальної записки об'ємом 64 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.

Дана робота присвячена індукційному наплавленню тонких плоских деталей циліндричної форми які працюють в різних ґрунтах із забезпеченням самозагострювання в процесі експлуатації. Проведенні дослідження режимів індукційного наплавлення деталей циліндричної форми товщиною 2-5 мм і напавленого шару до 1 мм з використанням енергоощадного режиму наплавлення і нагрівальних систем без екранування теплових і електромагнітних полів, а також системи з урахуванням електромагнітних і теплових полів.

Показано, що з використанням електромагнітних і теплових екранів при одночасному напавленні дисків, час напавлення скорочується з 32с. до 22с., покращується стабільність товщини шару напавленого металу на 18%, досягається додатково економія електроенергії на 9-12% тобто затрати електроенергії знижуються на 0,037-0,082кВт. год. на одну деталь за рахунок скорочення терміну напавлення та конвертованих втрат тепла в оточуюче середовище. На основі цих досліджень вдосконалена установка для одночасного напавлення тонких плоских деталей циліндричної форми яка дозволяє автоматизувати процес індукційного напавлення з використання порошкоподібного твердого сплаву ПГ-С1

Ключові слова: ІНДУКЦІЙНЕ НАПЛАВЛЕННЯ, ІНДУКТОР, НЕПЕРЕРВНО-ПОСЛІДОВНЕ НАПЛАВЛЕННЯ, ДИСК КУЛЬТИВАТОРА, ПОРОШКОПОДІБНИЙ ТВЕРДИЙ СПЛАВ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	7
1.1 Опис конструкції виробу та умов його роботи	7
1.2 Аналіз технологічних процесів підвищення зносостійкості ґрунтообробних тонких плоских деталей.....	9
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	12
2.1 Технічне обґрунтування способу наплавлення.....	12
2.2 Опис технологічного процесу виготовлення диска культиватора.....	17
3 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА	21
3.1 Дослідження залишкових деформацій та переміщень	21
3.2 Експериментальне дослідження залишкових напружень, деформацій та переміщень.....	29
4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	33
4.1 Механізована лінія для неперервно-послідовного індукційного наплавлення	33
4.2 Принцип роботи механізованої лінії.....	38
4.3 Розробка пристрою для подачі деталей при наплавленні.....	42
4.4 Розрахунок редуктора переміщення деталей на позиціях	43
4.5 Економічна ефективність індукційного наплавлення дисків	48
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	52
5.1 Оцінка шкідливих факторів, які виникають при наплавленні та заходи для зменшення їх впливу.....	52
5.2 Розрахунок захисного заземлюючого пристрою	54
5.3 Стійкість роботи підприємства в надзвичайних ситуаціях	57
ВИСНОВКИ.....	59
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	60
ДОДАТКИ.....	63

ВСТУП

В різних галузях народного господарства, в тому числі сільськогосподарських машинах, використовують різні деталі, які використовуються для обробки ґрунту. До них відносяться лемехи плугів, лапи культиваторів, ножі-гичкорізи, диски луцильників і т.д. В залежності від виду ґрунту і матеріалів, з яких вони виготовлені робочі поверхні зношуються по-різному. Для цього використовують різні методи зміцнення робочих поверхонь (загартування, наплавлення, напилення і т.д.) утворюючи при цьому біметалеві двошарові робочі поверхні. Крім того вони повинні забезпечувати процес самозагострювання, тобто більш м'який метал (основний) зношується швидше, а наплавлений (твердіший) – повільніше. Самозагострювання залежить від співвідношення товщини і зносостійкості основного і зміцненого прошарків. На сьогоднішній час існує багато способів та технологій наплавлення зносостійких матеріалів на робочі органи деталей сільськогосподарських машин. Але всі вони мають ряд недоліків і тому необхідно розробляти нові та вдосконалювати існуючі технології наплавлення з метою покращення механічних властивостей нанесених покриттів та підвищувати ефективність наплавлювальних робіт створюючи автоматичні лінії для реалізації всього технологічного процесу наплавлення.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції виробу та умов його роботи

В роботі обґрунтовується параметри технології наплавлення тонких плоских деталей, а саме диска культиватора (рис. 1.1 та 1.2), який виготовляють зі сталі 65Г. Виріб працює при температурі до $+35^{\circ}\text{C}$, використовується для оброблення ґрунту. Хімічний склад та механічні властивості даної сталі приведені у таблиці 1.1. та 1.2 відповідно.

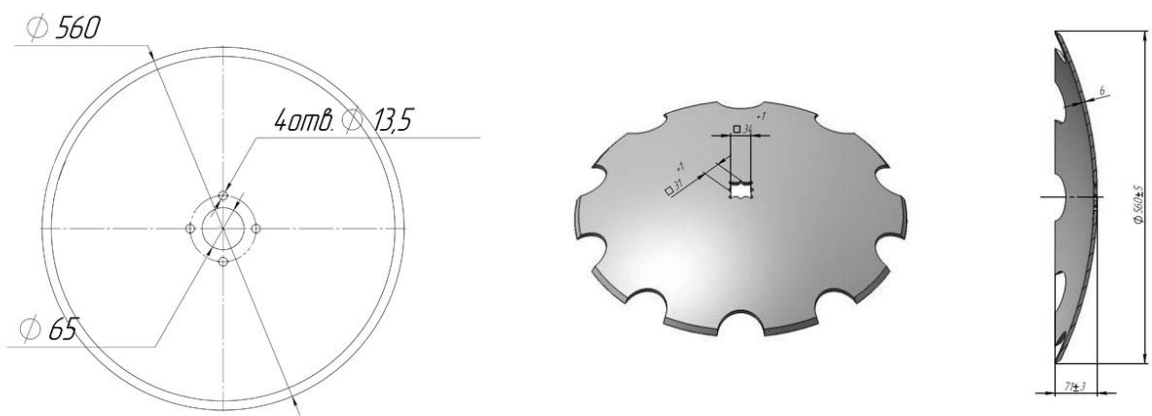


Рисунок 1.1. Схема диска культиватора



Рисунок 1.2. Загальний вигляд диска культиватора

Таблиця 1.1. Хімічний склад сталі [1]:

Стандарт	C	S	P	Mn	Cr	Si	Ni	Fe	Cu
ГОСТ 17152-89 (ISO 7129-82)	0.62- 0.7	≤0.035	≤0.035	0.9- 1.2	≤0.25	0.17- 0.37	≤0.25	Остаток	≤0.2

Таблиця 1.2. Механічні властивості сталі [1]:

Переріз, мм	t відпуску, °C	σ _T /σ _{0.2} , МПа	σ _B , МПа	d ₅ , %	d ₄	d	d ₁₀	γ, %	HRC	HV, МПа
Листовий прокат згідно ТУ 14-1-4118-2004										
	-	-	590- 830	-	≥10	-	≥12	-	-	-

Сталь 65 Г застосовується для виробництва пружин, ресор, ножів ґрунтообробних машин (культиваторів) і інших деталей, до яких пред'являються вимоги підвищеної зносостійкості та які працюють без ударних навантажень.

Виріб в процесі експлуатації піддається абразивному спрацюванню. В процесі абразивного зношування поверхні робочої частини піддаються механічному руйнуванню. Як відомо цей процес зношування залежить від розмірів та структури абразивних частинок, середовища в якому працює матеріал, від властивостей матеріалу з якого виготовлена деталь та інших факторів.

Диск культиватора має вагу 4 кг., діаметр 560 мм, доступ до нього не обмежений.

Покриття повинно забезпечувати наступні властивості виробу:

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

Повинна забезпечуватись умова:

$$|\alpha_{\text{покp}} - \alpha_{\text{осн}}| < 5$$

1.2 Аналіз технологічних процесів підвищення зносостійкості ґрунтообробних тонких плоских деталей

В сільському господарстві використовують при обробі ґрунту деталі у вигляді лемехів плугів, лап культиваторів, диски луцильників, які в процесі експлуатації піддаються абразивному зношуванню.

Для підвищення експлуатаційних властивостей та процесу самозагострювання в процесі експлуатації застосовують різноманітні способи наплавлення та напилення. Основними способами наплавлення які використовуються є електроконтактне, плазмове, електродугове, плакування вибухом, індукційне та інші [2].

В роботі [2] розглянуто способи наплавлення деталей ґрунтообробних машин такі як:

- Спосіб електроконтактного наплавлення. Суть способу полягає в приварюванні зносостійкої стрічки за допомогою точкового або шовного зварювання. Також при даному способі наплавлення використовують порошкові дроти або стрічки різної форми. При приварюванні порошкових дротів або стрічок сплавлення проходить у дві стадії це холодне ущільнення порошкового сердечника за рахунок зусилля притиску між електродами та нагрівання і плавлення сердечника і в кінцевому результаті приварювання оболонки та спікання сердечника. Даний спосіб має обмеження відносно товщини основного і плакуючого металів.

- Спосіб електродугового зміцнення. Даний спосіб запропонований Інститутом електрозварювання імені Є.О. Патона НАН України. Він полягає в нанесенні точок висотою 1..3 мм за допомогою електродугового наплавлення порошковим дротом. Недоліком даного способу є те, що досить велике проплавлення основного металу, а також невисока продуктивність процесу. На рис. 1.3 приведено загальний вигляд напавленого леміша плуга.

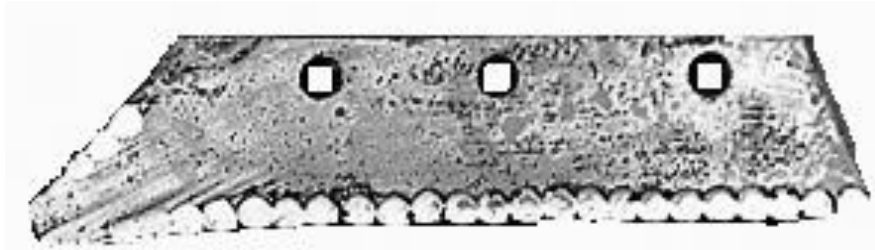


Рис. 1.3. Загальний вигляд наплавленого леміша

Також відомий спосіб електродугового наплавлення локальним зміцненням робочих поверхонь лап. Суть даного способу в тому, що на робочу частину наплавляють валики під кутом 25° відносно робочих зон лапи (рис. 1.4). Валики наносять через 40 мм одна від одної за допомогою електродугового зварювання. До недоліків даного способу можна віднести крім невисокої продуктивності, є обмеження по товщині металу.



Рис.1.4 Загальний вигляд зміцненої лапи способом електродугового локального зміцнення

В роботі [3] запропонований спосіб електроерозійного оброблення робочих органів ґрунтообробних машин, а саме ножів культиваторів (рис. 1.5).

Даний спосіб полягає в зміні характеристик поверхні деталей під дією електричних розрядів в результаті електричної ерозії. Цей метод не має широкого застосування в промисловості по при його переваги над попередніми способами. Але при застосуванні даного способу зміцнення робочих поверхонь виникають внутрішні напруження та неможливо

здійснювати керування якістю зміцненої поверхні для отримання необхідних експлуатаційних характеристик.



Рис.1.5 Загальний вигляд зміцненого диска способом електроерозійного оброблення [3]

Розроблено ряд інших способів зміцнення робочих поверхонь деталей машин, в тому числі сільськогосподарського призначення, дисків-культиваторів.

Це наплавлення за допомогою електронного прискорювача [4], лазерного зміцнення [5], загартування та інше. Через складну технологію і відсутнє обладнання, його недосконалості і високу дороговизну вони не знайшли широкого впровадження у виробництво.

Найбільш широкого застосування при виготовленні деталей ґрунтообробних машин знайшло індукційне наплавлення зносостійкими порошкоподібними сплавами різної твердості. Цей спосіб постійно вдосконалюється враховуючи умови виробництва та вимог до якості наплавленого металу.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Технічне обґрунтування способу наплавлення

При виготовленні деталей ґрунтообробних машин широкого застосування знайшов спосіб індукційного наплавлення (рис. 2.1). Він полягає в тому, що деталь розташовується в індикаторі, який живиться струмом високої частоти від генератора. Між генератором і деталлю виникають невидимі вихрові струми, які розігрівають основний метал, а від поверхні основного металу плавиться порошкоподібний твердий сплав (шихта) за рахунок теплопередачі. При цьому температура плавлення основного металу повинна бути вищою за температуру плавлення шихти. Необхідно зазначити, що частота струму підбирається в залежності від товщини основного металу. Оскільки в даному випадку товщина диску культиватора складає 5-6 мм, а глибина проникнення струму в метал складає 0.85 мм, ми вибираємо генератор частотою 440 кГц [6].

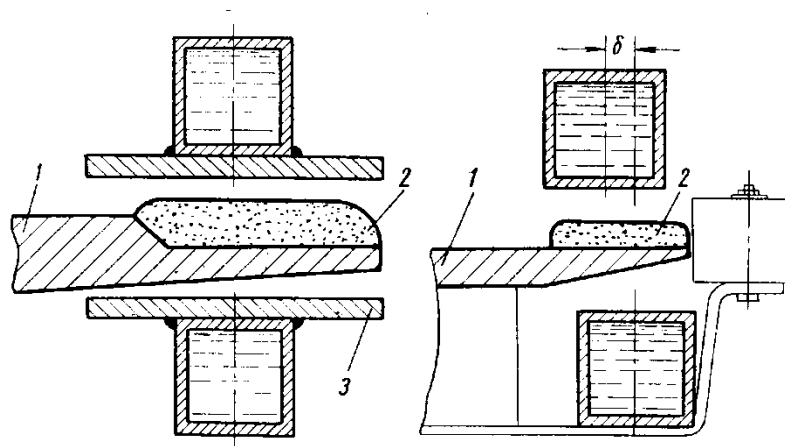


Рис. 2.1 Схема індукційного наплавлення [6]: 1 – деталь; 2 – прошарок шихти; 3 – індуктор

Шихта являє собою суміш порошків твердого сплаву і флюсів. Вихідними матеріалами для приготування флюсів є борна кислота, технічна бура, сілікокальцій і зварювальний флюс АН-348 А. Теплові та металургійні зміни які проходять із шихтою під час наплавлення показано на рис. 2.2.

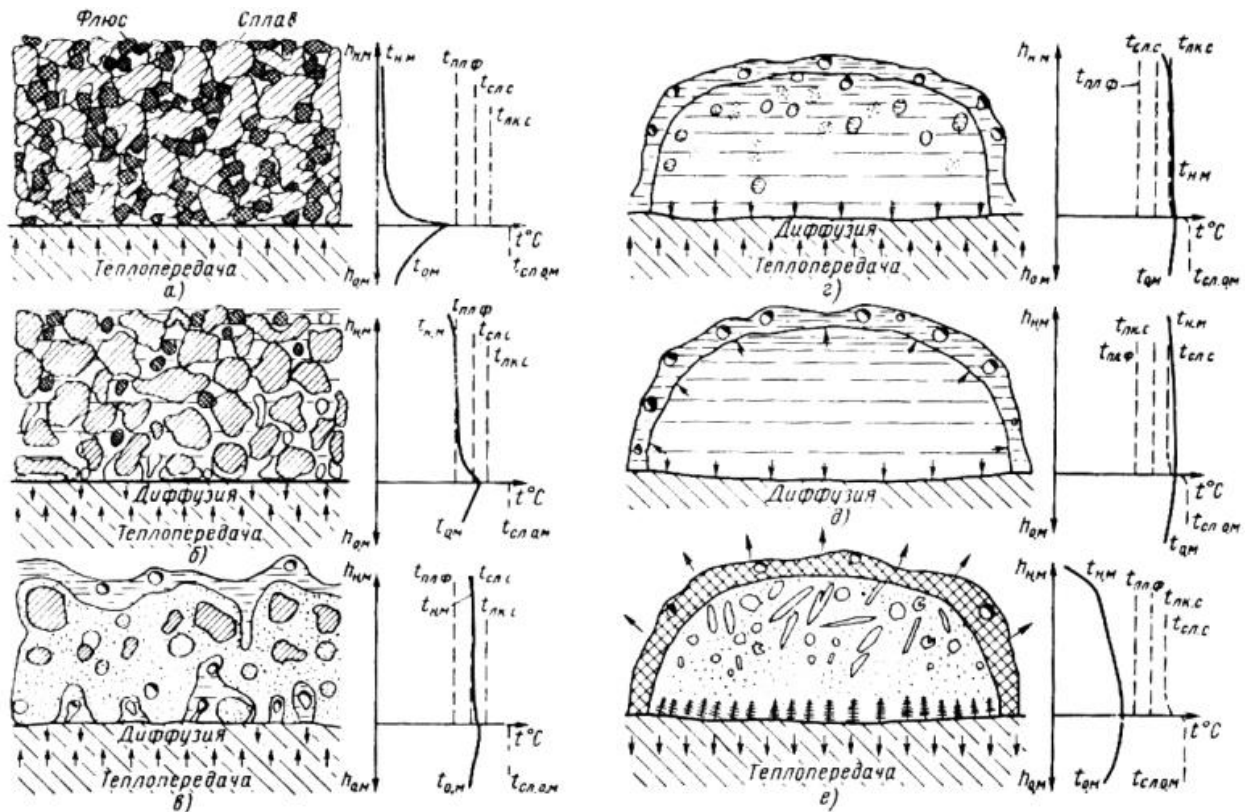


Рис 2.2. Загальна схема змін, яких зазнає шихта в процесі наплавлення [6]:

Індукційне нагрівання струмами високої частоти (СВЧ) реалізується у ряді способів наплавлення.

Відомий спосіб армування розплавленої поверхні металу спеціальними тугоплавкими матеріалами. Використовується для отримання литої сталевій матриці з вплавленими в неї зернами тугоплавкого компонента. При цьому способі використовується зернистий реліт або здріблені металокерамічні сплави [6].

Спочатку приготують присадку разом з флюсом (борна кислота), пізніше наносять на поверхню, яку необхідно наплавити. Потім вводять в індуктор, розігрівають основний метал, а від поверхні його плавиться присадний метал.

Спосіб заливання рідкого присадного металу на підігрітій основний метал.

Цей метод полягає в тому, що на підігрітій основний метал заливають рідкий метал в спеціальну форму. Застосовується для відновлення циліндричних поверхонь, в тому числі і залізничних колій.

Спосіб розплавлення брикетового матеріалу використовують для виготовлення клапанів двигунів внутрішнього згорання. В цьому методі присадним матеріалом являється лите кільце з жаростійкого сплаву, який вкладають у виточку на опорній поверхні клапана

Також існують способи занурення деталі в розплавлений сплав та відцентрове наплавлення, але вони обмежено застосовуються незважаючи на свою простоту.

Тому, для наплавлення диска культиватора будемо застосовувати індукційне наплавлення порошкоподібним твердим сплавом

Для реалізації способу індукційного наплавлення застосовують порошкоподібні тверді сплави відповідно до ГОСТ 11930.0-79 - Матеріали наплавочне [7].

При їх виборі необхідно враховувати середовище, в якому буде працювати деталь, вид зношування, а також умову самозагострювання під час експлуатації.

Найбільш широкого застосування при наплавленні деталей ґрунтообробних знарядь застосовують твердоподібні порошки такі як, ПГ-С1, ПГ-АН5, ПГ-АН8, ПГ-АН9, які задовільняють експлуатаційні вимоги.

Із врахуванням умов роботи та експлуатаційних вимог для наплавлення диска культиватора найбільш ефективним буде застосування сплаву типу ПГ-С1.

Хімічний склад порошку ПГ-С1 приведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад порошку ПГ-С1 згідно ГОСТ 6546-70 [7]

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

Для реалізації процесу індукційного наплавлення диска культиватора необхідно підібрати устаткування, в склад якого входять генератор високої частоти, нагрівальний пристрій (індуктора), а також технологічного оснащення. Найбільш широкого застосування й досі мають високочастотні генератори (ВЧГ) з робочою частотою більше 50 кГц.

Найбільш поширені ВЧГ з робочою частотою 60...74 кГц, такі як ЛПЗ-37, ЛПЗ-2-67, ЛЗ-107, ВЧИ-63/0,066, ВЧИЗ-100/0,066, ВЧИЗ-160/0,066 [8]. Із впровадженням зварювання струмами високої частоти були розроблені конструкції генераторів частотою струму 440 кГц. Потужність даних генераторів знаходиться в межах 160 ... 600 кВт. Найбільш поширеними генераторами такого типу є моделі ВЧС2 160/0,44, ВЧС1 250/0,44 та ВЧС1 600/0,44.

Для правильного вибору устаткування для наплавлення необхідно відштовхуватись від параметрів режиму наплавлення.

Основними параметрами при індукційному напавленні є час наплавлення та потужність на індукторі.

Час наплавлення залежить від товщини напавленого металу (h_c), коефіцієнту $m=2$, довжини напавленої частини (L) та довжини активної частини індуктора (l), тому час наплавлення буде рівним [6]:

$$\tau = (12 + mh_c) \left(\frac{L}{l} + 1 \right) = (12 + 2 * 1) \left(\frac{300}{360} + 1 \right) = 24c$$

Повний час наплавлення виробу буде рівний 140 с.

Наплавлення диска культиватора проводимо за допомогою режиму, параметри якого приведено в таблиці 2.2

Оскільки існує великий ряд високочастотних генераторів які застосовуються для наплавлення, вибір як повинен забезпечувати необхідні параметри наплавлення. З врахуванням цього, а також розмірів зони наплавлення та розмірів деталей, для індукційного наплавлення застосовуємо генератор ВЧГЗ-100/0,44 (рис. 2.3) [8]. Характеристика високочастотного генератора приведена в таблиці 2.3.

Таблиця 2.2 - Режим наплавлення дика культиватора

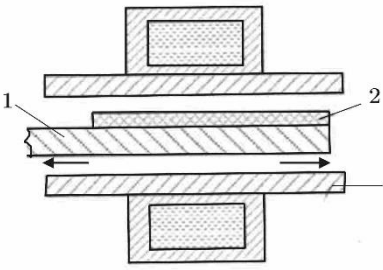
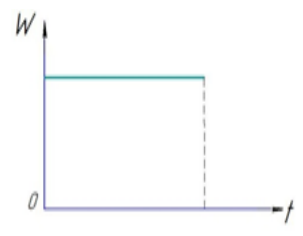
Нагрівальна система	Режими наплавлення					Тип генератора	Характер зміни питомої потужності на індукторі $W \cdot 10^{-9} \text{ Вт/м}^3$
	Напруга на контурі, кВ	Анодна напруга, кВ	Струм сітки лампи, А	Струм анода лампи, А	Час наплавлення, с		
	Змінні					ВЧГ 3 – 100/0,44	
	вхідні чисельник (t=0 с)		вихідні знаменник (t= 20с)				
	2.2 6.4	8.0 9.5	3.6 1.85	1.1 6.0	20		
1 – деталь; 2 – твердий сплав; 3 – індуктор;							



Рисунок 2.3 Загальний вигляд генератора ВЧГЗ – 100/0,44

Таблиця 2.3 – Технічна характеристика генератора ВЧГЗ-100/0,44 [8]

Параметр		Значення	
Напруга мережі живлення, частотою 50 Гц, В		380	
Потужність, що споживається від мережі, кВт		141	
Коливальна потужність, кВт		100 ₋₁₀	
Робоча частота, МГц		0,44±0,011	
Коефіцієнт потужності при анодній напрузі 10,5 – 11,5 кВ, не менше		0,85	
Відхилення стабілізованої анодної напруги при регулюванні в межах 3,5 – 10,7 кВ при зміні напруги мережі живлення в межах ± 5 % від номінального значення, %, не більше		±0,5	
Розхід охолоджуючої води, м ³ /год		3,4	
Тиск води охолодження, МПа		0,2	
Габаритні розміри, мм	генераторного блоку	в плані	2200×1400
		висота	2730
	блоку нагрівального контуру	в плані	1000×1330
		висота	2030
Маса, кг		3000	

2.2 Опис технологічного процесу виготовлення диска культиватора

Технологічний процес виготовлення диска культиватора складається з наступних операцій: заготівельних, наплавлення та опоряджувальні.

Заготівельні операції включають правлення листового прокату зі сталі 65Г товщиною 4мм, очищення та вирізання заготовок. Правлення листового прокату здійснюють за допомогою листопривальної машини типу Roundo PRH 120 / 1500 (рис. 2.4).



Рис. 2.4 Загальний вигляд листопрямуючої машини Roundo PRH 120 / 1500 [9]

Машина має наступні технічні характеристики:

Артикул	RPRH120-1
Тип приводу	механічний
Робоча товщина листа	5 мм
Робоча ширина листа	1000 мм
Потужність	2,2 кВт
Діаметр правильних роликів	120 мм
Діаметр подаючих роликів	120 мм

Після правлення листового прокату проводять очищення його від забруднень механічними способами.

Після очищення від забруднень лист поступає на операцію вирізання заготовок диска. Вирізання заготовок проводимо за допомогою лазерної установки LTC-PRO-2000 [10] (рис. 2.5). Технічна характеристика установки приведена в таблиці 2.4



Рисунок 2.5 Загальний вигляд лазерної установки для різання LTC-PRO-2000

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

Передача променя	Через оптоволокну
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
Тип приводу координати Z	Сервопривід
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

Дана установка оснащена системою ЧПК, що дозволяє автоматично здійснювати різання металу, а також здійснює автоматично розмітку листа, що зменшує час різання.

Коли заготовки диска готові, вони поступають на операцію наплавлення, яка здійснюється за допомогою високочастотного генератора та автоматичної установки для неперервно-послідовного наплавлення (робота установки описана в 4-му розділі).

З операції наплавлення, наплавлені диски поступають на операцію рихтування. На даній операції здійснюють формування диска та заточування з протилежної сторони від наплавленого металу та фарбують або наносять речовину для зберігання деталей в складах.

Під операцією формування диска розуміють надання наплавленому диску напів-сферичної форми.

3 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

3.1 Дослідження залишкових деформацій та переміщень

При індукційному наплавленні робочі поверхні дисків наплавляють стійкими до спрацювання порошкоподібними сплавами, що призводить до виникнення залишкових напружень і переміщень, які змінюють її початкову геометрію. Залишкові переміщення залежать від геометричних розмірів диска, наплавленого шару, фізико-механічних характеристик матеріалів диска і наплавленого металу.

Залишкові деформації і переміщення, які виникають після процесу наплавлення, пов'язані з відмінністю механічних і теплофізичних властивостей основного і наплавленого металів, зокрема коефіцієнтів температурного розширення α_T , і несиметричність процесу наплавлення.

З літературних джерел [11] відомо, що основними причинами виникнення залишкових напружень, деформацій та переміщень в диску і наплавленому шарі є відмінність коефіцієнтів температурного розширення і модулів Юнга основного і наплавленого металів та не симетрія розміщення наплавленого шару відносно серединної площини диска.

Напруження які виникають в кожній точці диску з основного матеріалу визначають за рівняннями:

$$\begin{aligned}\sigma_{11}^{(1)} &= \frac{E_0}{1-\nu^2} [\varepsilon_{11} + \nu\varepsilon_{22} - \alpha_0(1+\nu)(T - T_0)]; \\ \sigma_{22}^{(1)} &= \frac{E_0}{1-\nu^2} [\varepsilon_{22} + \nu\varepsilon_{11} - \alpha_0(1+\nu)(T - T_0)].\end{aligned}\tag{3.1}$$

де E_0 , α_0 – модуль Юнга і коефіцієнт температурного розширення основного матеріалу, ν – модуль Пуассона, T_0 – початкова температура диска.

В довільний момент нагріву або охолодження температура в будь-якому перерізі постійна по товщині і диск вільно опертий по контуру внутрішнього отвору з радіусом r_1 . Зовнішній радіус диска r_2 (рис. 3.1). Тоді граничні умови в будь-який момент часу мають вигляд:

$$r = r_1; \quad N_I = 0; \quad M_I = 0; \quad w = 0;\tag{3.2}$$

$$r = r_2; \quad N_I = 0; \quad M_I = 0.$$

Зауважимо, що в даній моделі ми не розв'язуємо задачі теплопровідності, а будемо апроксимувати температурне поле в диску для цього моменту часу деякою залежністю, використовуючи експериментальні дані. Так, наприклад, залежність (3.2) дозволяє з достатньою точністю апроксимувати знайдений експериментальний закон розподілу температури в диску для цього моменту часу, коли наплавлений шар затвердіває, тобто температура $T_{01} = 700^\circ\text{C}$, при коефіцієнті градієнтності $\beta = 0,35$.

$$T_1(r) = T_{01} e^{-\frac{(r-r_3)}{\beta}}, \quad r_1 \leq r \leq r_3$$

$$T_1(r) = T_{01}, \quad r_3 \leq r \leq r_2. \quad (3.3)$$

Надалі врахуємо також, що добуток параметрів $E_0\alpha_0$ для певних інтервалів зміни температур можна з незначною похибкою вважати сталою величиною. Так, для сталі $E_0\alpha_0 \approx 0,25$, для порошкоподібного сплаву ПГ-С1 (сормайту) $E_n\alpha_n \approx 0,3$.

Основною умовою при наплавленні деталей машин має значення той факт, що для усунення тріщин в наплавленому металі необхідно щоб коефіцієнт температурного розширення β основного і наплавленого металу були максимально наближеними.

Рівняння для теоретичного визначення переміщень мають вигляд:

- в зоні $r_1 \leq r \leq r_3$:

$$\frac{d^2 U^{(1)}}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dU^{(1)}}{dr} - \frac{U^{(1)}}{r^2} = D_U^{(1)} \frac{dT^*}{dr}; \quad (3.4)$$

$$\frac{d^2 \theta^{(1)}}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\theta^{(1)}}{dr} - \frac{\theta^{(1)}}{r^2} = 0;$$

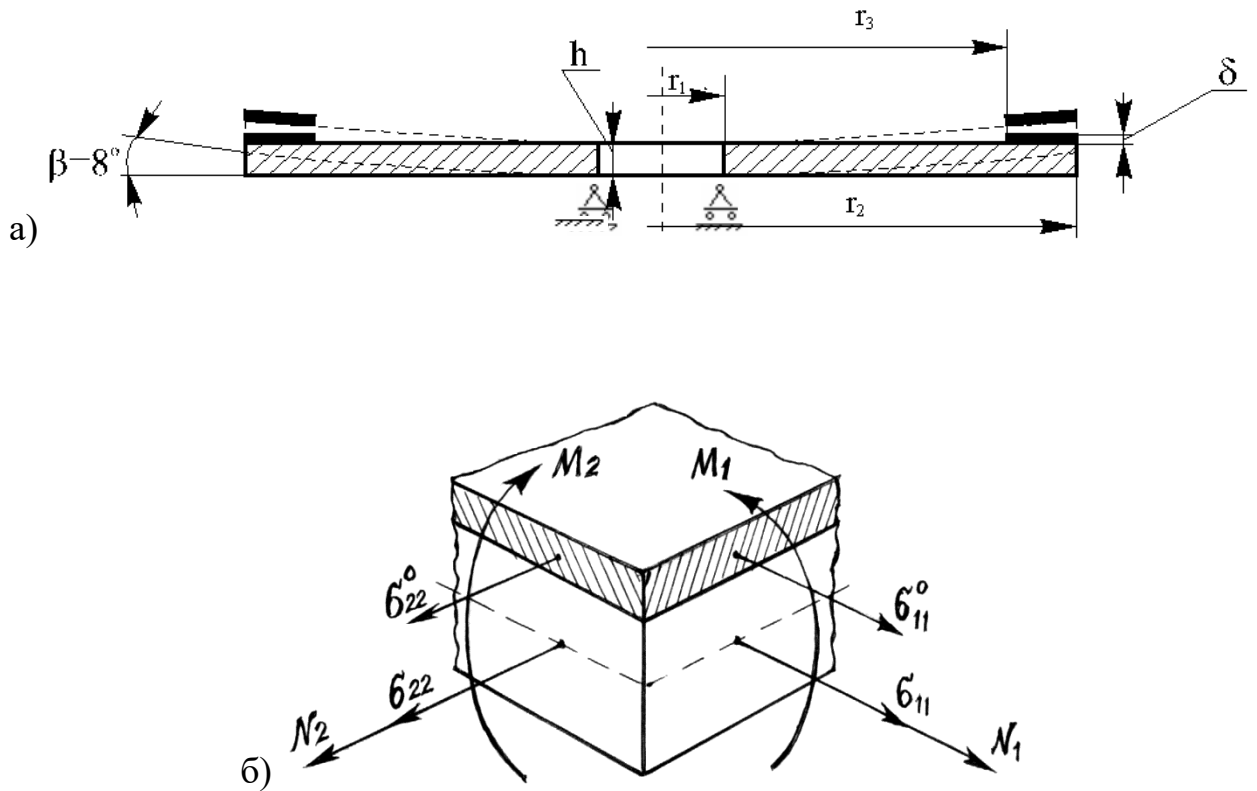


Рис. 3.1. а – фрагмент диска до і після наплавлення; б – елемент диска в зоні наплавлення з позначеннями напружень, зусиль і моментів

- в зоні $r_3 \leq r \leq r_2$

$$\frac{d^2 U^{(2)}}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dU^{(2)}}{dr} - \frac{U^{(2)}}{r^2} = D_U^{(2)} \frac{dT^*}{dr}; \quad (3.5)$$

$$\frac{d^2 \theta^{(2)}}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\theta^{(2)}}{dr} - \frac{\theta^{(2)}}{r^2} = D_\theta \frac{dT^*}{dr},$$

де введено позначення:

$$D_U^{(1)} = D_T^{(1)} / D_N^{(1)}; \quad D_U^{(2)} = (D_T^{(2)} D_M^{(2)} - D_T^* D_{NM}^{(2)}) / \Delta; \quad (3.6)$$

$$D_\theta = (D_T^* D_N^{(2)} - D_T^{(2)} D_{NM}^{(2)}) / \Delta; \quad \Delta = D_N^{(2)} D_M^{(2)} - D_{NM}^{(2)}.$$

На рисунку 3.2 приведено розподіл температури по радіусу диска – $T^*(r)$ в момент початку деформування системи основний і наплавлений метал як пружне тіло при різних значеннях β .

Прогини дисків знаходять за наступним виразом:

$$\begin{aligned}
w^{(1)} &= \frac{1}{a_1 r_2^2} \left[\frac{(1-\nu)(r_1^2 - r^2)}{2(1+\nu)} + r_1^2 \ln \frac{r_1}{r} \right] \left[\tilde{D}_2 a_2 + D_\theta (1-\nu) r_3^2 \int_{r_3}^{r_2} T^* r dr \right]; \\
w^{(2)} &= \frac{(1-\nu)}{2a_1(1+\nu)r_2^2} \left\{ \tilde{D}_2 [a_2(r_1^2 - r_3^2) + a_1(r_3^2 - r^2)] + \right. \\
&+ D_\theta [(1-\nu)r_3^2(r_1^2 - r_3^2) + a_1(r_3^2 - r^2)] \int_{r_3}^{r_2} T^* r dr \left. \right\} + \\
&+ \frac{1}{a_1 R_2^2} \left\{ \tilde{D}_2 \left[a_2 r_1^2 \ln \frac{r_1}{r_3} + a_1 r_2^2 \ln \frac{r_3}{r} \right] + \right. \\
&+ D_\theta \left[(1-\nu) r_3^2 r_1^2 \ln \frac{r_1}{r_3} + a_1 r_2^2 \ln \frac{r_3}{r} \right] \int_{r_3}^{r_2} T^* r dr \left. \right\} + D_\theta \int_{r_3}^r \left[\frac{1}{r} \int_r^{r_2} T^* r dr \right] dr.
\end{aligned} \tag{3.7}$$

Залишкові напруження σ_2 по товщині ненаплавленої (в точках 1, 2, 3, 4) та наплавленої (в точках 5, 6, 7) частин диска при товщині наплавленого шару $\delta = 1$ мм приведені на рис. 3.3, а при $\delta = 1,5$ мм – на рис. 3.4. Кільцеве напруження міняє знак при переході з основного металу в наплавлений шар. В зоні наплавлення основний метал перебуває в стані розтягу і стиску в кільцевому напрямку, а в наплавленому шарі діють кільцеві напруження розтягу. Максимальне напруження σ_2 яке виникає в наплавленому металі на межі сплавлення і дорівнює $\sigma_2 = 0,54\sigma_g''$ при товщині наплавленого шару $\delta = 1$ мм та $0,517\sigma_g''$ при $\delta = 1,5$ мм, границя міцності наплавленого матеріалу ПГ-С1 (сормайту) $\sigma_g'' \cong 150$ МПа. Що дозволяє виконати умову міцності, як для наплавленого, так і для основного металу, а це означає, що виникнення тріщин неможливе [12].

Згідно літературних даних, для здійснення наплавлення дисків, створюючи при цьому низький рівень залишкових напружень, необхідно використовувати температурне поле з низьким рівнем градієнтності по радіусу.

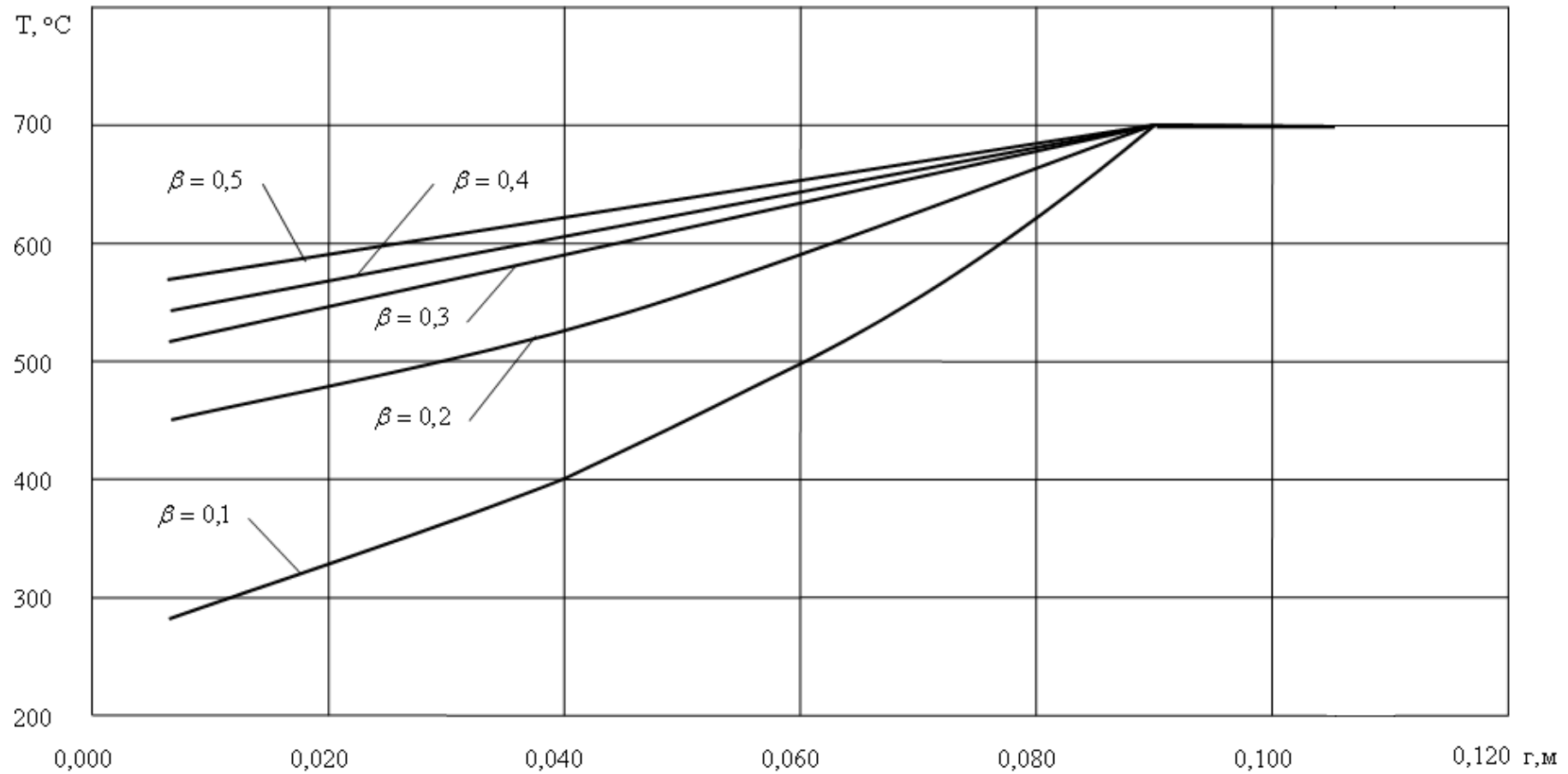


Рис. 3.2. Розподіл температури по радіусу диска в момент початку деформування системи основний і наплавлений метали як пружного тіла при різних значеннях коефіцієнта градієнтності β

Таблиця 3.1 Результати обчислення температури в момент затвердіння наплавлюваного металу, залишкових кільцевих напружень, прогинів і переміщень в залежності від радіуса диска r і рівня градієнтності β при товщині наплавленого шару $\delta = 1$ мм

β	r (м)	0,28
0,5	T	6,800E+02
	$\sigma_2 z=-h/2$	4,768E-02
	$\sigma_2 z=+h/2$	-7,787E-02
	$\sigma_2 z=h/2(h)$	3,677E-01
	$\sigma_2 z=h/2+\delta$	3,358E-01
	W	2,422E-04
0,4	U	-9,365E-07
	T	6,800E+02
	$\sigma_2 z=-h/2$	5,342E-02
	$\sigma_2 z=+h/2$	-8,718E-02
	$\sigma_2 z=h/2(h)$	4,346E-01
	$\sigma_2 z=h/2+\delta$	3,988E-01
0,3	W	2,685E-04
	U	-1,090E-06
	T	6,800E+02
	$\sigma_2 z=-h/2$	6,269E-02
	$\sigma_2 z=+h/2$	-1,022E-01
	$\sigma_2 z=h/2(h)$	5,429E-01
0,2	$\sigma_2 z=h/2+\delta$	5,010E-01
	W	3,110E-04
	U	-1,339E-06
	T	6,800E+02
	$\sigma_2 z=-h/2$	8,027E-02
	$\sigma_2 z=+h/2$	-1,308E-01
0,1	$\sigma_2 z=h/2(h)$	7,482E-01
	$\sigma_2 z=h/2+\delta$	6,945E-01
	W	3,915E-04
	U	-1,811E-06
	T	6,800E+02
	$\sigma_2 z=-h/2$	1,261E-01
0,1	$\sigma_2 z=+h/2$	-2,053E-01
	$\sigma_2 z=h/2(h)$	1,284E+00
	$\sigma_2 z=h/2+\delta$	1,199E+00
	W	6,016E-04
	U	-3,043E-06

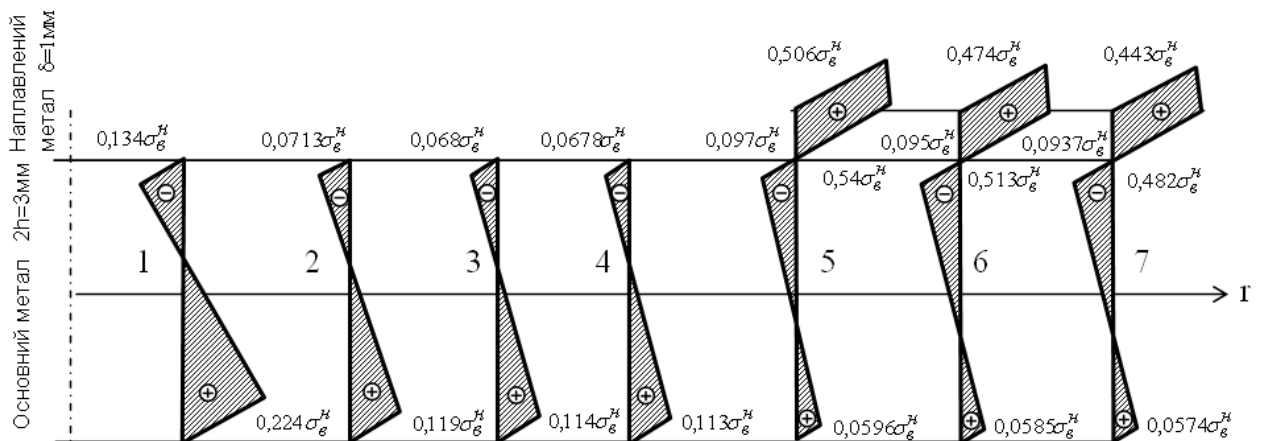


Рис. 3.3. Розподіл залишкових напружень σ_2 по товщині ненапавленої (у точках 1, 2, 3, 4) та напавленої (в точках 5, 6, 7) частин диска при $\delta = 0,001$ м, $\beta = 0,35$

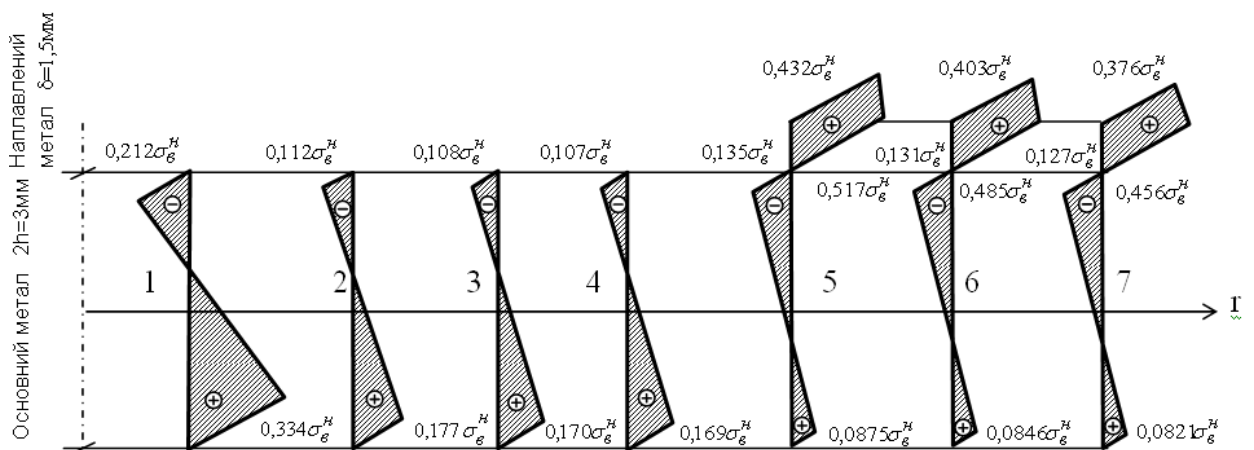


Рис. 3.4. Розподіл залишкових напружень σ_2 по товщині ненапавленої (у точках 1, 2, 3, 4) та напавленої (в точках 5, 6, 7) частин диска при $\delta = 0,0015$ м, $\beta = 0,35$

Залишкові прогини при цьому також незначні і не перевищують $w \leq 0,001$ м при $\delta = 1$ мм і $\delta = 1,5$ мм для всіх наведених значень β .

Значить, конструкція нагрівальної системи, яка здійснює нагрівання з низьким рівнем градієнтності по радіусу диска, створює низький рівень залишкових напружень, які не перевищують допустимих, дає можливість уникнути операцію попереднього підігріву деталі, яка використовується для

зниження рівня залишкових напружень [12]. Це знижує також енергозатрати на здійснення операції наплавлення.

На рис. 3.5 показано залежність максимальних кільцевих напружень σ_2 від товщини наплавленого шару. Як видно з рисунку, із збільшенням товщини наплавленого шару максимальні кільцеві напруження зменшуються.

Слід зауважити, що використання високоградієнтного нагрівання по радіусу диска приводить до створення поля залишкових напружень, частина яких перевищує допустимі. Для їх зниження необхідно здійснювати додаткову технологічну операцію (наприклад, відпал) [13].

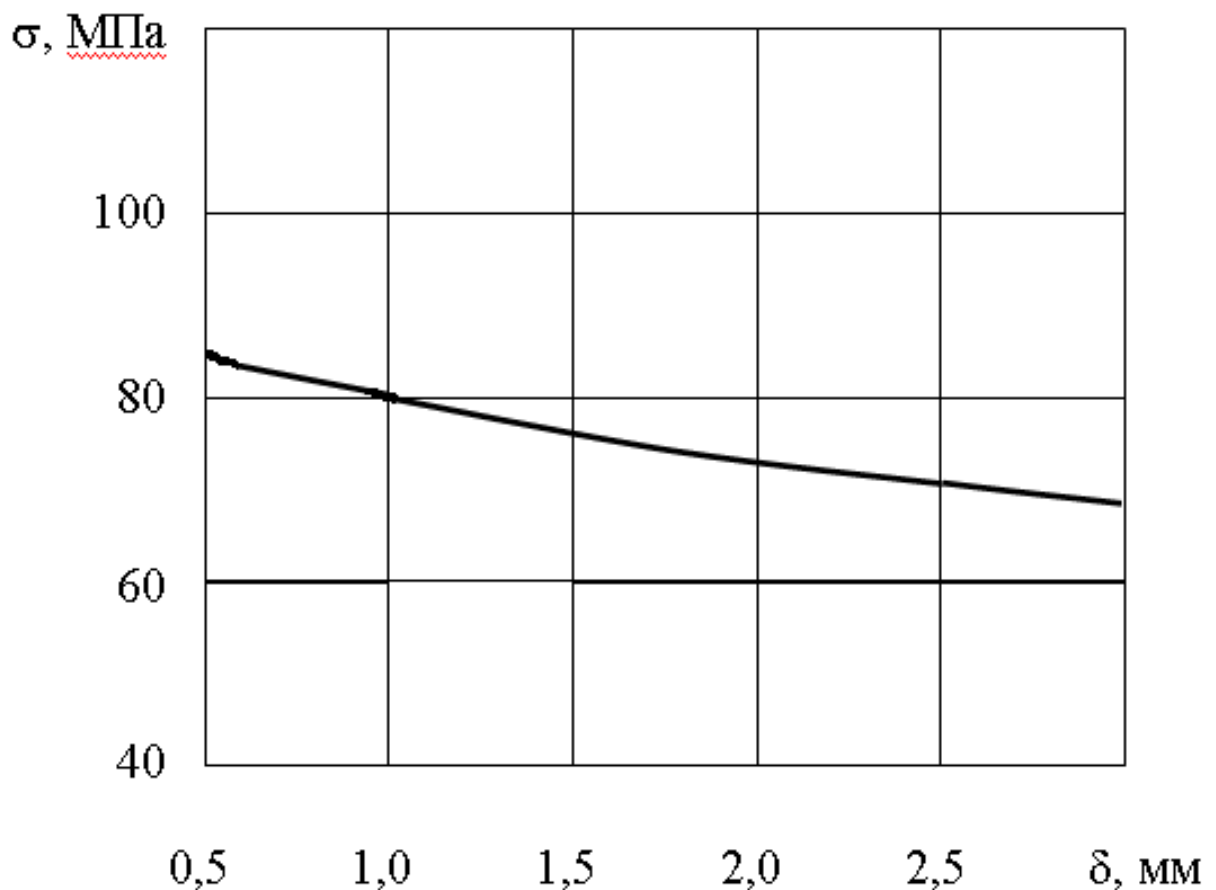


Рис. 3.5. Залежність максимальних кільцевих напружень в зоні наплавлення від товщини наплавленого шару при коефіцієнті градієнтності $\beta = 0,35$

3.2 Експериментальне дослідження залишкових напружень, деформацій та переміщень

Для підтвердження математичних моделей розрахунку переміщень були проведені експериментальні дослідження за методикою, яка описана в роботі [14].

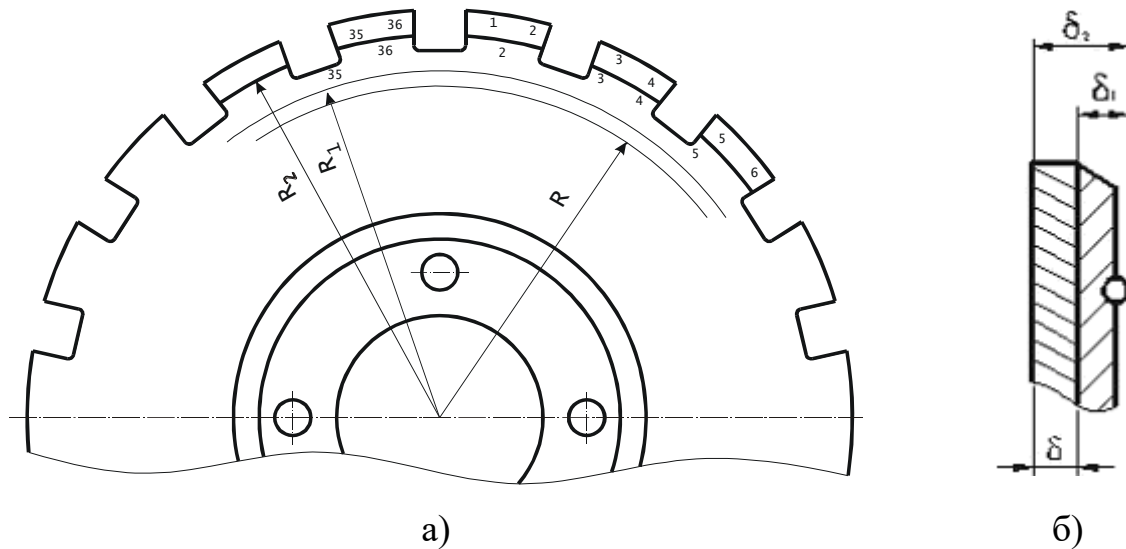


Рис. 3.6. а – диск культиватора, підготовлений для вимірювання товщини наплавленого металу і деформації [14]; б – переріз в зоні наплавлення

З протилежної сторони поверхні наплавлення за розробленим спеціальним пристосуванням виконували напівсферичні виямки в декілька точок по відповідному радіусу, як показано на рис. 3.6 а, б)

Для визначення прогинів дисків-культиваторів (рис. 3.1) (3.7) та відхилення робочої поверхні А відносно базової розроблена установка рис. 3.7 а) і метод. 14.

Вона складається з універсальної ділильної головки 1, яка кріпиться на столі токарно-гвинторізного верстата 7. В шпинделі головки була встановлена оправка 2, до якої за допомогою болтів 4 і фланця 5 притискається диск. Величину прогинів вимірювали за допомогою індикатора годинникового типу 6, який був встановлений на станині верстата 7. Вимірювання прогинів здійснювали на поверхні по середині ширини зони наплавлення в 36 точок

(рис. 3.7 а). При дослідженні прогинів враховували поверхні оправки 2 і до якої прилягала базова поверхня диска.

З метою перевірки радіальних переміщень в диску, отриманих за допомогою розробленої математичної моделі і експериментальними даними, була розроблена спеціальна методика. Вона включає в себе пристрій, який показано на рис. 3.7, б) і складається з основи 1, на якій закріплені вал 2, що обертається відносно своєї осі, і індикатор 3. На вал встановлюється диск 4, який кріпиться гайкою 5 до упора на валу 2.

Вимірювання проводили наступним чином. Диск, у якому в середній частині зроблений центровочний отвір, встановлювали на вал. Головку індикатора встановлювали на зовнішньому торці і торці впадин диска і проводили декілька замірів. Після цього знімали диск, засипати шихту і за допомогою високочастотного генератора його наплавляли. Після наплавлення цей же диск встановлювали так, як до наплавлення і заміряли відхилення від попереднього розміру.

Таким чином, розроблена методика дослідження прогинів і радіальних переміщень дисків дозволяє оцінити експериментально прогини і радіальні переміщення.

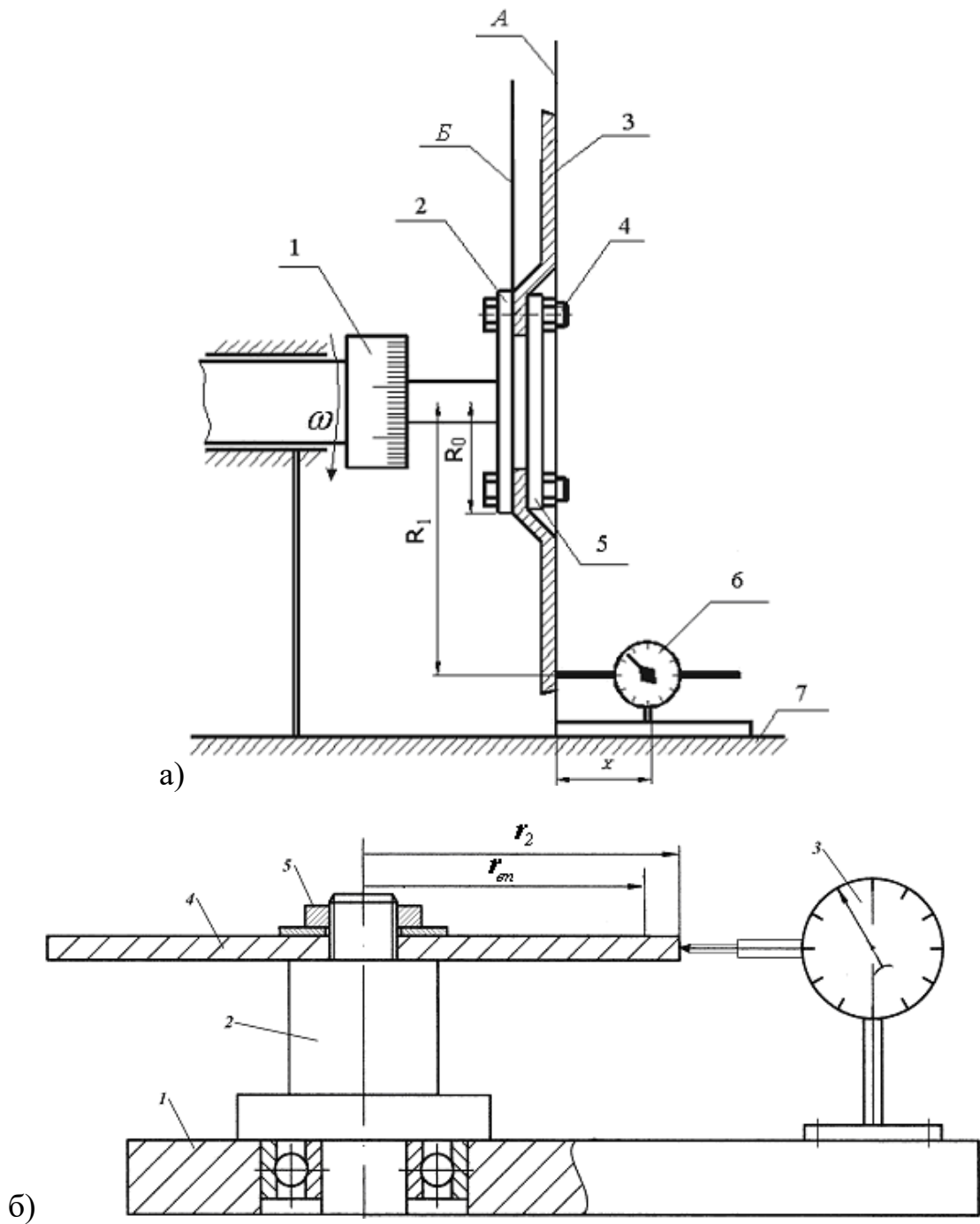


Рис. 3.7. Схеми установок для вимірювання: а - прогинів диска; б – радіальних переміщень точок диска

Результати вимірювань переміщень та прогинів диска приведено на рисунках 3.8 та 3.9.

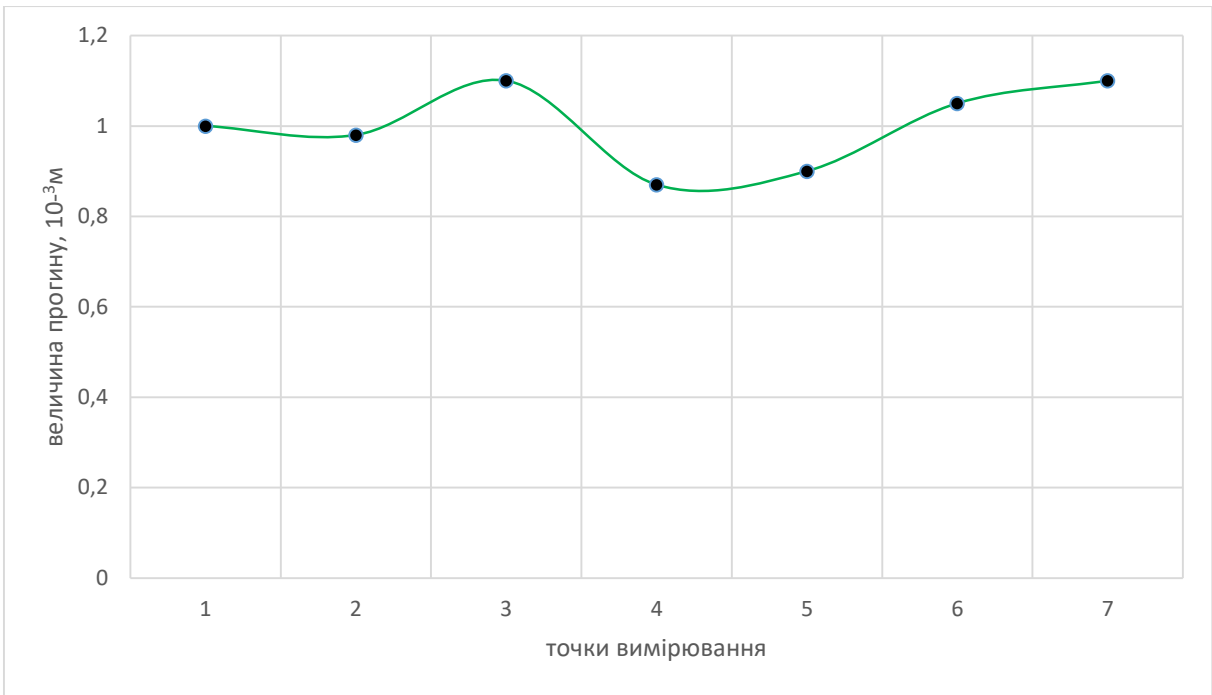


Рис. 3.8 Зміна величини прогину диска

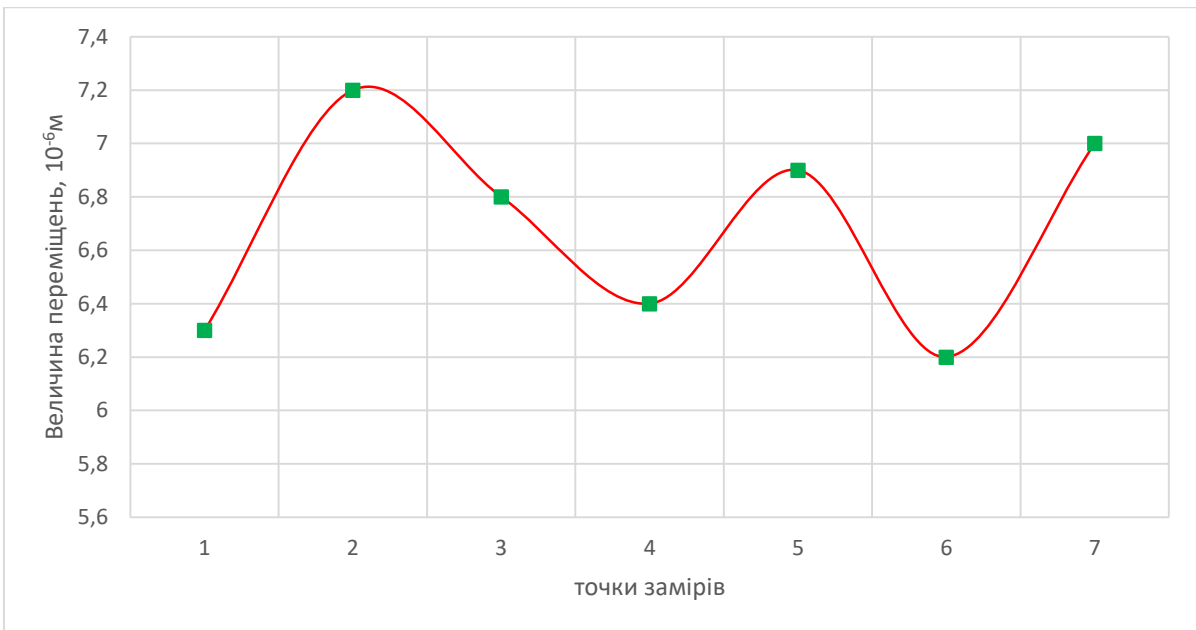


Рис. 3.9 Зміна величини переміщень диска

4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Механізована лінія для неперервно-послідовного індукційного наплавлення

На першій стадії, з метою механізації процесу наплавлення тонких сталевих деталей неперервно-послідовним способом була розроблена механізована лінія [15].

На рис. 4.1 наведена принципова схема розробленої автоматичної лінії. Вона складається з рухомої платформи, на якій встановлена карусель, маніпулятора для перевантаження деталей, механізмів підймання, механізму засипання шихти, шафи управління, а також розміщених поза платформою високочастотного генератора з індуктором і шафи керування.

На рис.4.2 та 4.3 показана механізована лінія; на рис. 4.4 – механізм засипання шихти ; 4.5 – механізм засипання і повернення просипаної шихти; на рис. 4.6 –схема роторного пристосування; на рис. 4.7 - схема механізму поштучної подачі заготовок в накопичувач; на рис. 4.8 –схема механізму завантаження і розвантаження деталей; на рис. 4.9 – механізм для регулювання товщини засипання шихти (вузол I).

Установка складається з платформи (рис. 4.5), на якій розташовані механізм завантаження і розвантаження деталей, механізм засипання шихти і повернення просипаної шихти, механізм переміщення заготовок у вигляді роторного пристосування, механізм поштучної подачі заготовок і механізм прийому наплавлених деталей.

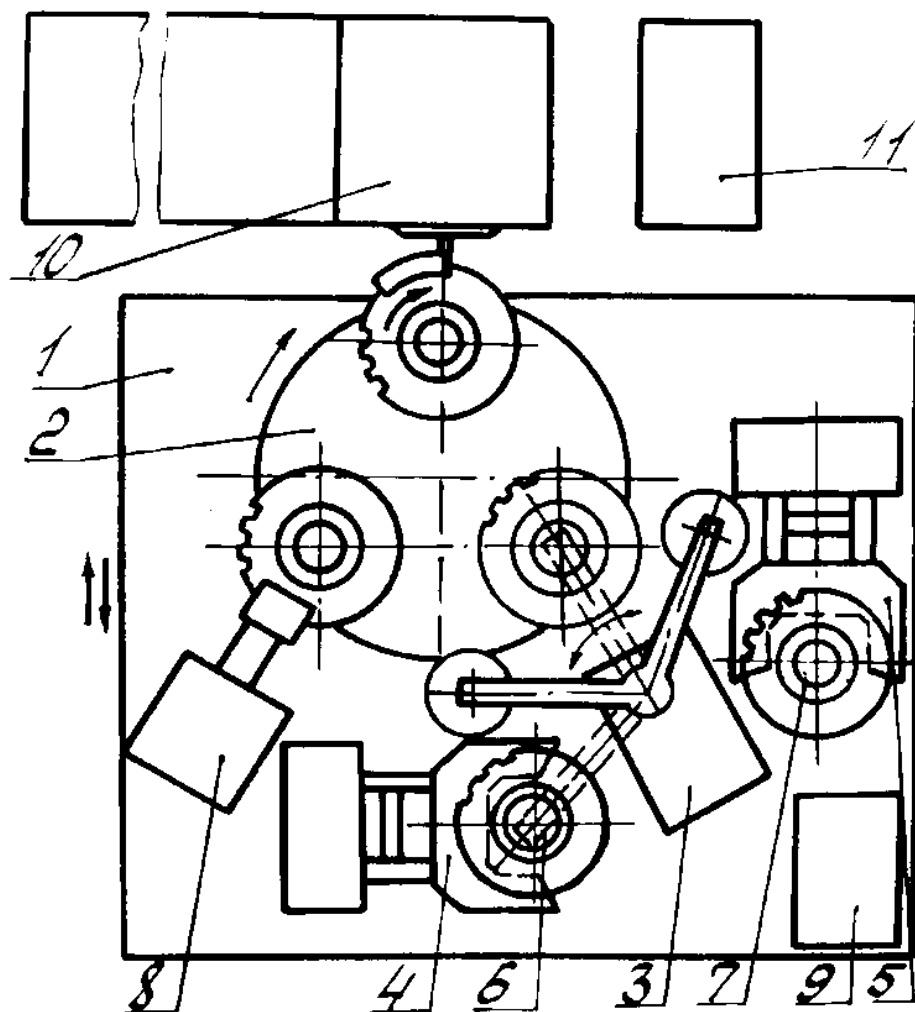


Рисунок 4.1 - Принципова схема потокової лінії неперервно-
 послідовного наплавлення

Платформа встановлена на роликах і оснащена приводом для переміщення платформи в горизонтальному напрямку рейки. Механізм завантаження і розвантаження деталей складається з коромисла, на кінцях якого встановлено електромагніти. Механізм зв'язаний з приводом для вертикального піднімання деталей і приводу повороту деталей, виконаного у вигляді електродвигуна з двоступінчатим редуктором, на вихідному валу якого встановлені вільнообертаюча шестерня і електромагнітна муфта. Шестерня зв'язана із зубчатим колесом, яке встановлене на валу коромисла.

Механізм 3 завантаження шихти і повернення просипаної шихти встановлений на колоні, яка розташована на платформі. Він складається з бункера-живильника, який шарнірно встановлений також на колоні, коливального бункера .

Бункер має привід для вертикального переміщення і копіювальний ролик, який встановлений з можливістю регулювання товщини засипання шихти. Всередині бункера вмонтовано два вали, які зв'язані між собою клиноремінною передачею. На одному валу змонтована лопатева крильчатка для переміщення шихти і датчик контролю обертання крильчатки, а на іншому валу встановлена фрикційна регулююча муфта з електродвигуном. Датчик зв'язаний з електроприводом заслінки.

Механізм переміщення заготовок являє собою трьохпозиційний поворотний стіл з гніздами для фіксації його на позиціях з приводом і редуктором, на валу якого встановлені шестерні, а також жорстко зв'язані з ним електромагнітні муфти. Шестерня 39 зв'язана з шестернею, яка встановлена на валу стола.

Шестерня зв'язана з шестернею, яка має можливість вільного обертання. Блок-шестерня також зв'язана з паразитною шестернею. На поворотному столі встановлені планшайби, на валу яких встановлені шестерні, які взаємодіють з паразитною шестернею.

Механізм має також привід із вловлювачем, який взаємодіє з гніздом привідного стола.

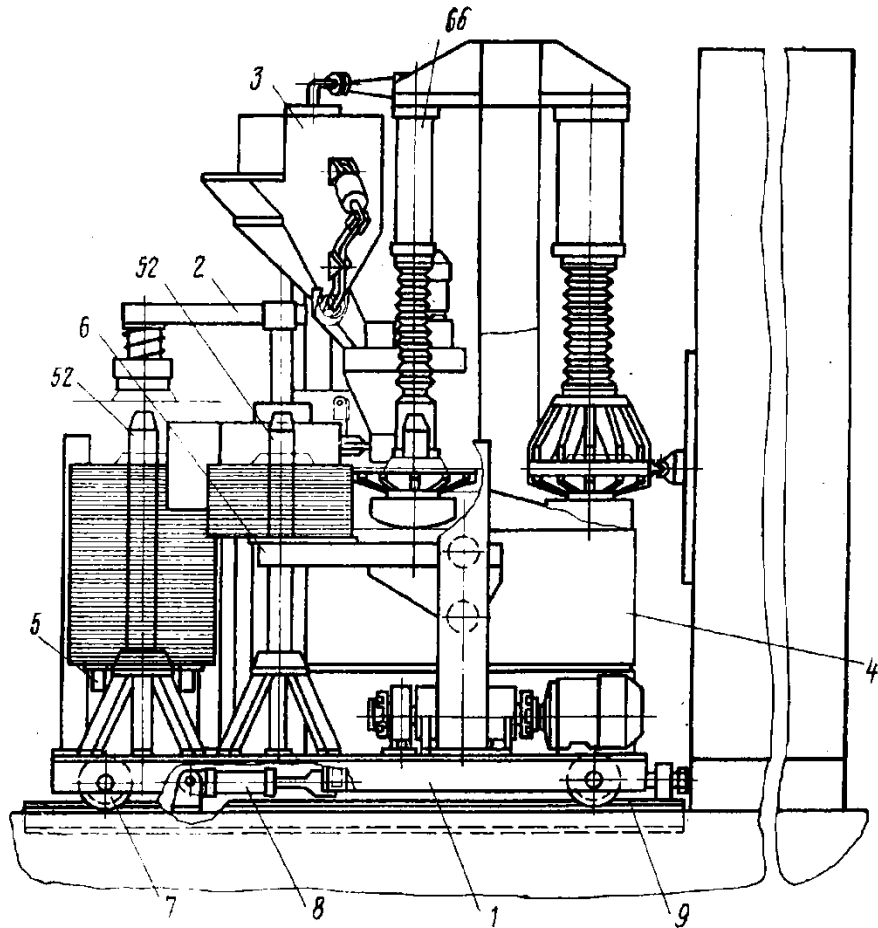


Рис. 4.2 - Лінія для неперервно-послідовного індукційного наплавлення

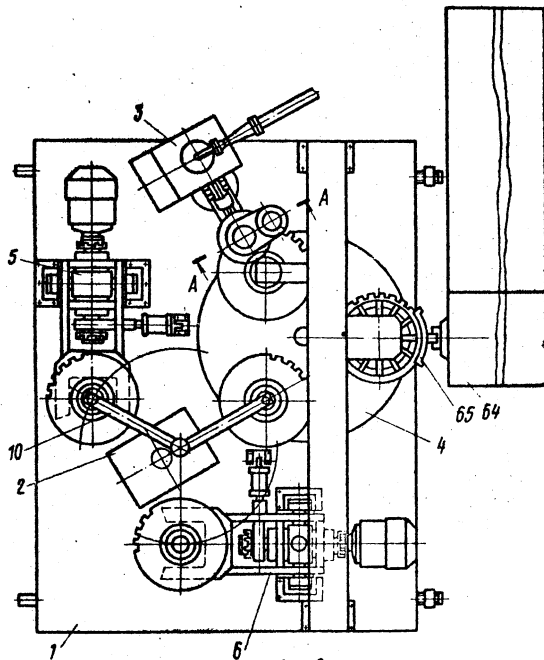


Рисунок 4.3 - Загальний вигляд лінії зверху

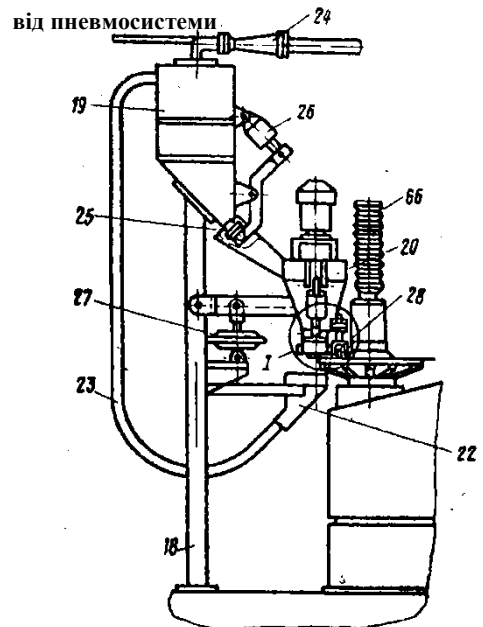


Рисунок 4.4 - Механізм для заповнення шихти

Механізм поштучної видачі деталей і механізм приймання наплавлених деталей мають накопичувач у вигляді циліндричного вала і механізму піднімання, виконаного у вигляді піднімальної вилки, з'єднаної з приводом через гвинт з конічною шестернею і шестернею з електромагнітною муфтою. Механізм піднімання також має привід крокового переміщення, зв'язаного з конічною шестернею, на валу якої змонтовані електрична муфта і зубчате колесо, яке взаємодіє з рейкою приводу. На основі окремо від платформи встановлено високочастотний генератор з індуктором, і на позиції завантаження шихти є механізм фіксації заготовки для запобігання її провертання.

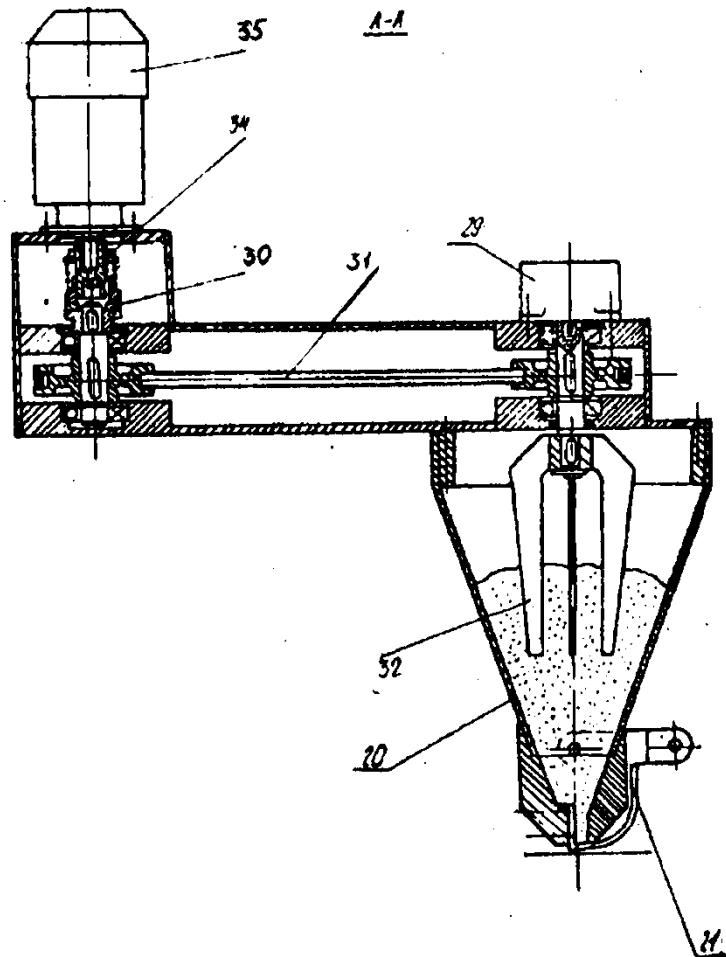


Рисунок 4.5 - Пристосування для контролю шихти

4.2 Принцип роботи механізованої лінії

Механізована лінія працює наступним чином. Накопичувачі встановлюють на платформу, розташовуючи штирі між вилками. З допомогою механізму завантаження заготовки подають на планшайбу роторного механізму. Якщо на планшайбі є готові вироби, одночасно із завантаженням заготовок проходить розвантаження. Коромисло опускається приводом до дотикання електромагнітів з заготовкою, яка встановлена на накопичувачі, і до готового виробу на планшайбі механізму.

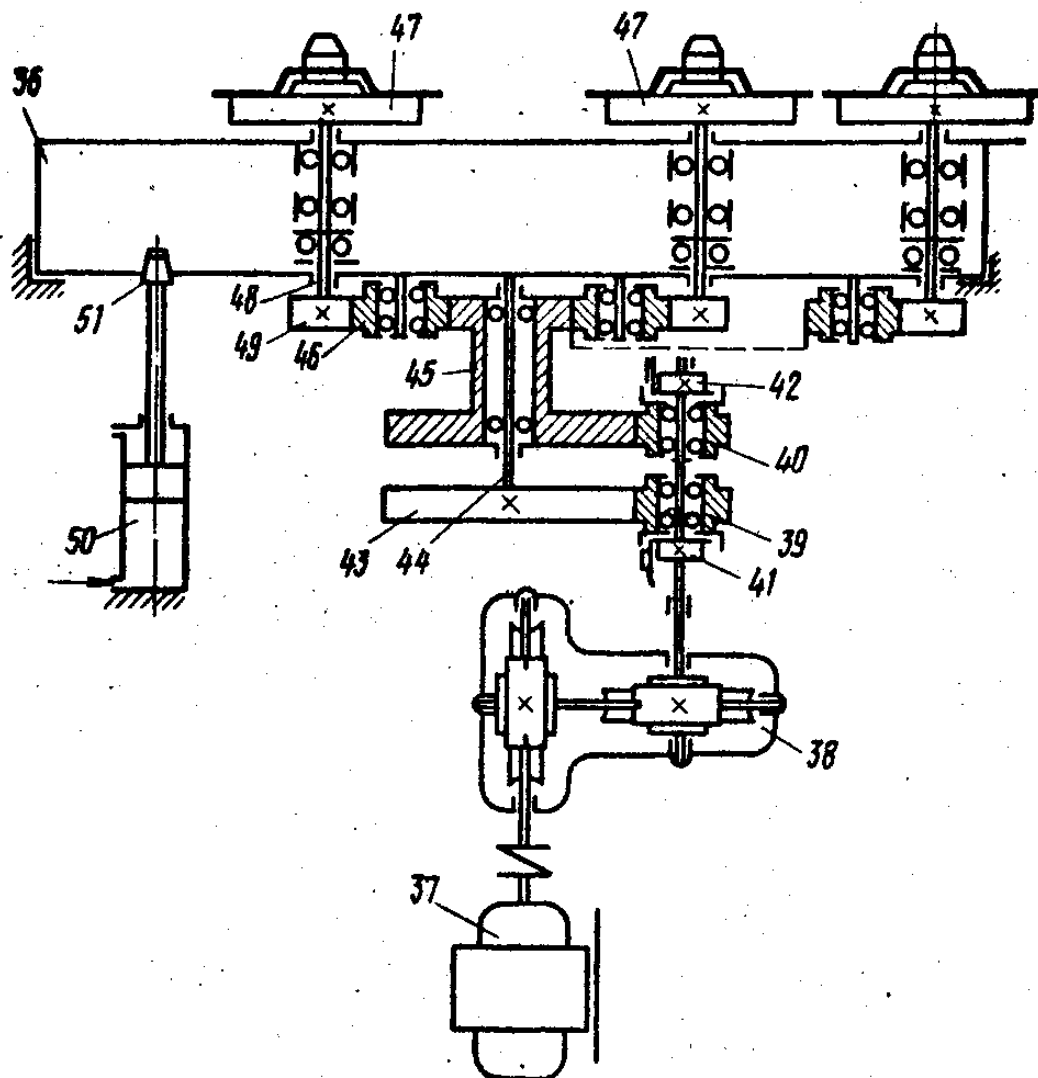


Рисунок 4.6 - Кінематична схема механізму переміщення деталей

Відбувається захоплення деталей електромагнітами. Коромисло піднімається вгору приводом і знімає заготовку зі штиря накопичувача, а також готову деталь з планшайбами. Вмикають привід і взаємодією через редуктор і шестерні при ввімкненій електромуфті повертають коромисло 10 на 120°. В кінцевій точці повороту електромуфти вимикають і привід опускає коромисло, завантажуючи планшайбу новою заготовкою, а готову деталь опускають в накопичувач. Електромагніти опускають заготовку і готову деталь, а коромисло піднімається і повертається знову у початкове положення.

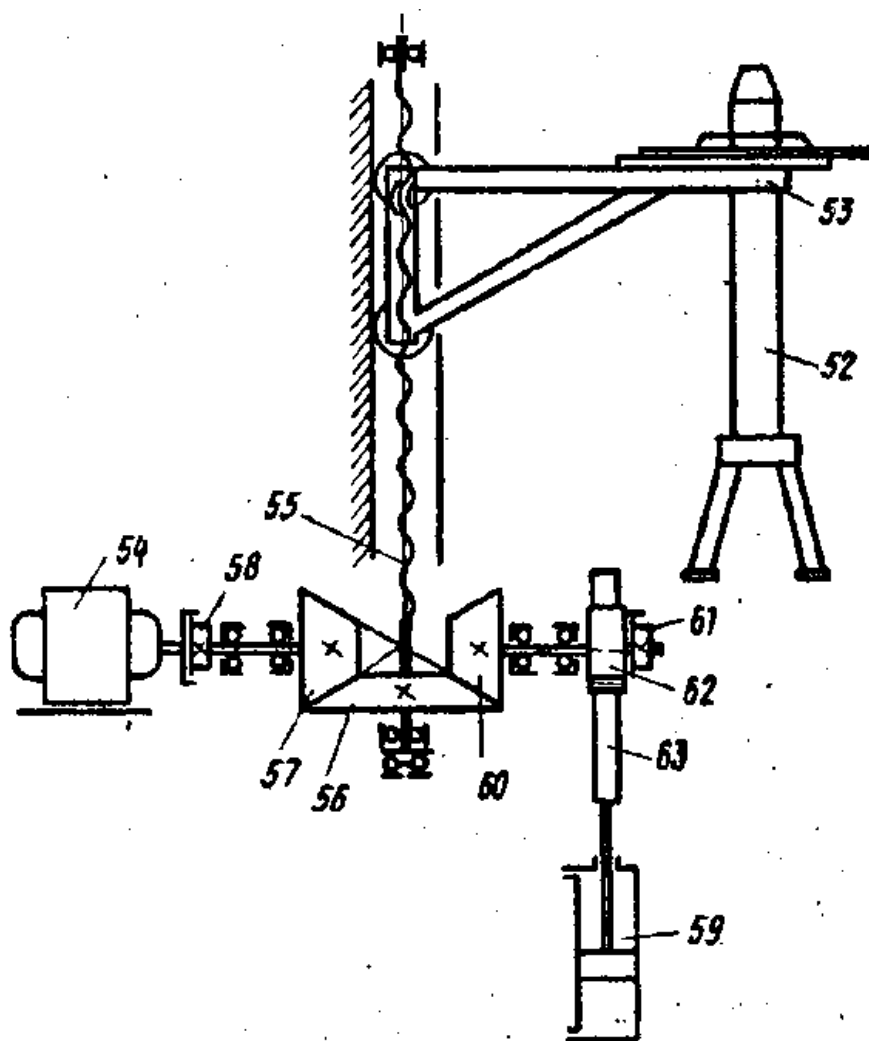


Рисунок 4.7 - Схема механізму видачі деталей

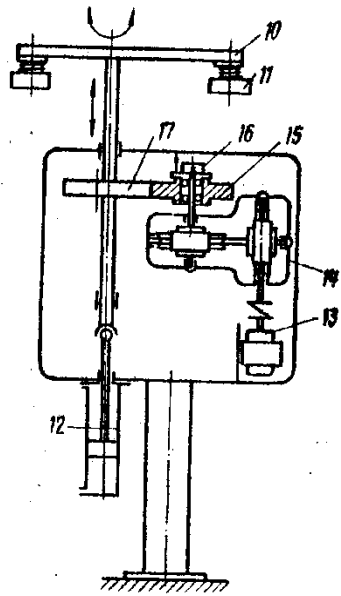


Рис. 4.8 - Схема механізму загрузки та вигрузки заготовок

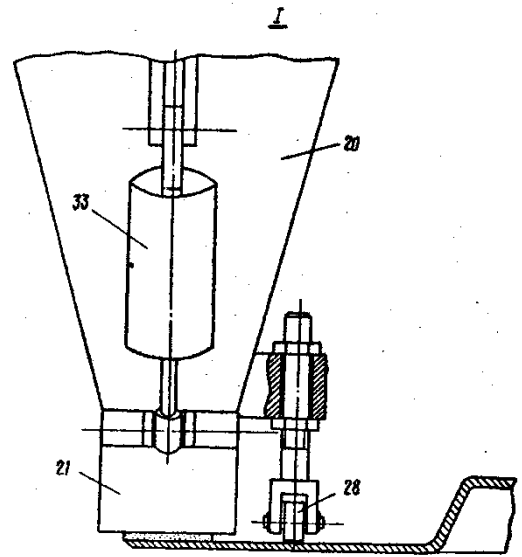


Рис. 4.9 - Механізм для регулювання товщини засипання шихти на поверхню диска до наплавлення (вузол I)

Після зняття однієї заготовки із завантажуючого накопичувача і вкладання однієї деталі в пустий накопичувач відбувається ввімкнення приводу і електромуфти, за допомогою зубчатої рейки і зубчатого колеса передається обертальний рух шестерні. Колесо через шестерню повертає гвинт, який піднімає вилку на один крок. Швидке опускання або піднімання вилки здійснюється приводом через муфту, конічні шестерні. При поштучній видачі заготовок вмикають муфту, а муфту вимикають, а при швидкому переміщенні вилки муфту вмикають, а муфту вимикають.

Поворотний стіл електродвигуном через редуктор, вільно обертаючу на валу шестерню і муфту повертають на 120° , при цьому шестерня діє на шестерню і вал стола. Після повороту стіл фіксують вловлювачем, переміщаючи його приводом. При повороті стола на 120° здійснюють подачу заготовки в зону засипання шихти, а заготовку, яка була раніше засипана шихтою, - в зону подачі в індуктор генератора, а наплавлену деталь - в зону розвантаження.

Механізмом фіксації до планшайби притискають заготовку. Бункер приводом опускають до дотикання ролика з поверхнею заготовки, після чого відкривають заслінку. Шихта в бункер поступає з бункера-живильника при відкриванні заслінки приводом. Сигнал на відкривання заслінки поступає від датчика контролю обертання крильчатки.

Відкривання заслінки можливе тільки при закритій заслінці і при вимкненому ежекторі. Засипання шихти на деталь здійснюють бункером при обертанні її разом з планшайбою від електродвигуна, обертання здійснюється через двохступеневий черв'ячний редуктор, електромufту і шестерню, а також через блок-шестерню і паразитну шестерню на шестерню і вал, на якому встановлена планшайба. Всі три планшайби обертаються одночасно. Після закінчення засипання шихти, а також наплавлення здійснюється зупинка обертання трьох планшайб. Потім здійснюється відвід бункера і розфіксація поворотного стола. Після цього знову здійснюється поворот стола на 120° і відбувається зміна позицій і подача заготовки з шихтою на позицію наплавлення з допомогою вказаних елементів, після чого здійснюється горизонтально-поступальне переміщення платформи 1 на чотирьох роликах рейками до індуктора з допомогою привода.

Після закінчення наплавлення відбувається зупинка обертання деталі, платформа 1 відходить від індуктора зворотнім шляхом назад, а потім здійснюється поворот стола ще на 120° . Після цього відбувається розвантаження і завантаження виробів, встановлення нової деталі з шихтою на наплавлення і під засипання шихти і т. д. до повного витрачення заготовок в пакеті.

З метою зменшення висипання шихти в прийомну воронку під час засипання її на виріб знизу під нею встановлюється підпружинена пластина (на рисунку не показана), яка закриває прорізи в тілі заготовки, а шихта, яка частково висипалася через прорізи зубів диска, збирається в воронку і повертається трубопроводом в бункер - живильник з допомогою ежектора.

Після повної витрати заготовок в пакеті відбувається автоматична зупинка установки. Пустий накопичувач і накопичувач з наплавленими деталями забирають і встановлюють накопичувач з новими заготовками і пустий накопичувач. Цикл роботи механізованої лінії для наплавлення тонких фасонних деталей повторяється в описаній послідовності.

Запропонована лінія дозволяє шляхом автоматизації подачі шихти здійснювати контрольовану подачу шихти на деталь з постійним підживленням бункера, а здійснення одночасної подачі кількох заготовок на технологічні позиції, переміщення встановленого на платформі технологічного обладнання в зону індуктора дозволяє підвищити продуктивність процесу наплавлення тонких фасонних деталей.

Технічна характеристика лінії:

Ємкість тари, шт.	70
Продуктивність, шт./год	18
Такт роботи лінії, хв	3,33
Спосіб захоплення деталей – електромагнітний	

4.3 Розробка пристрою для подачі деталей при наплавленні

Для спрощення конструкції пристрою поштучної подачі деталей, який використовується на лінії, був розроблений простішої конструкції пристрій, який показаний на рис. 4.9. Він має змонтовану на основі направляючу, пружини різної висоти і жорсткості, які закріплені на основі корпусу.

На вільних кінцях пружин розміщені деталі (деталь). Пристрій працює наступним чином. Деталь кладуть на пружини орієнтуючи їх по направляючій. Після повного завантаження пристрій з заготовками подають до лінії для наплавлення. За допомогою захоплюючого механізму (на рис. не показано), здійснюється поштучне зняття деталей з подачею їх на наплавлення. При знятті одного диска партія, що залишилась підіймається пружинами до певного рівня (висоти), до тих пір, поки не залишиться жодного

диска. Потім порожній пристрій забирають, а на його місце встановлюють пристрій з новим комплектом деталей [16].

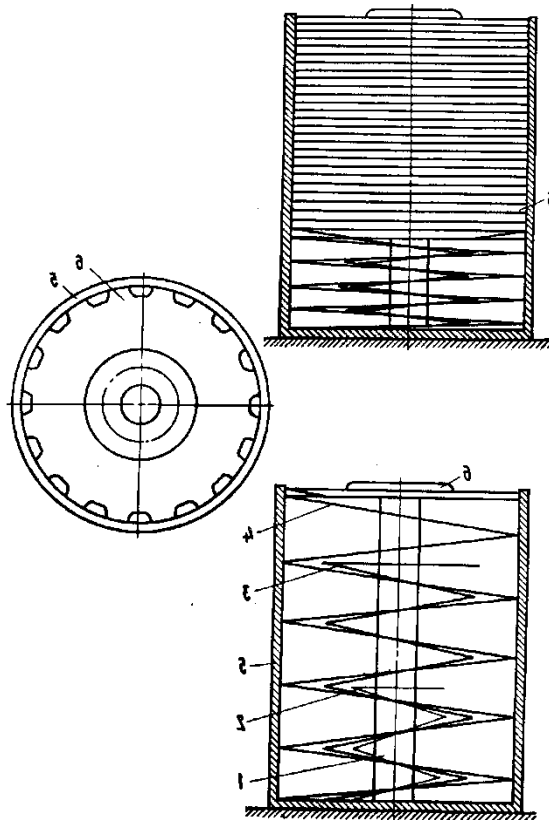
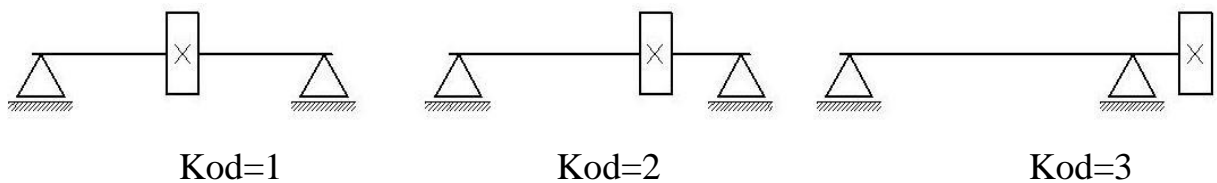


Рисунок 4.9 - Пристрій для поштучної подачі деталей [16]

4.4 Розрахунок редуктора переміщення деталей на позиціях

Для розрахунку модуля прямозубої передачі необхідно підібрати таке значення коефіцієнта динамічності (K_{hv}) для зубчастого зачеплення, котре б відрізнялося від розрахункового коефіцієнта динамічності (k_{hvr}) для цього ж зачеплення не більше як на 0,001 ($K_{hv}-k_{hvr}\leq 0.001$) [17].

Коефіцієнт, що враховує розміщення зубчастої передачі відносно опор



$$kod := 3$$

Коефіцієнт торцювого перекриття

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

Коефіцієнт, котрий враховує сумарну довжину контактних ліній

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

Визначимо передаточне число прямозубої передачі

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

$$un := u + 1, \quad u = 1$$

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

$$Kh\beta1 := 0.915 + 0.0588 \cdot \psi bd + 0.799 \cdot \psi bd^2 - 0.554 \cdot \psi bd^3 + 0.17 \cdot kod$$

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

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

Дослідження відповідності призначуваного коефіцієнта динамічності розрахунковому.

Присвоюємо змінній K початкове значення коефіцієнта динамічності

$$\underline{K} := 1$$

$$K_{hv} := K, K + 0.001 .. K + 1$$

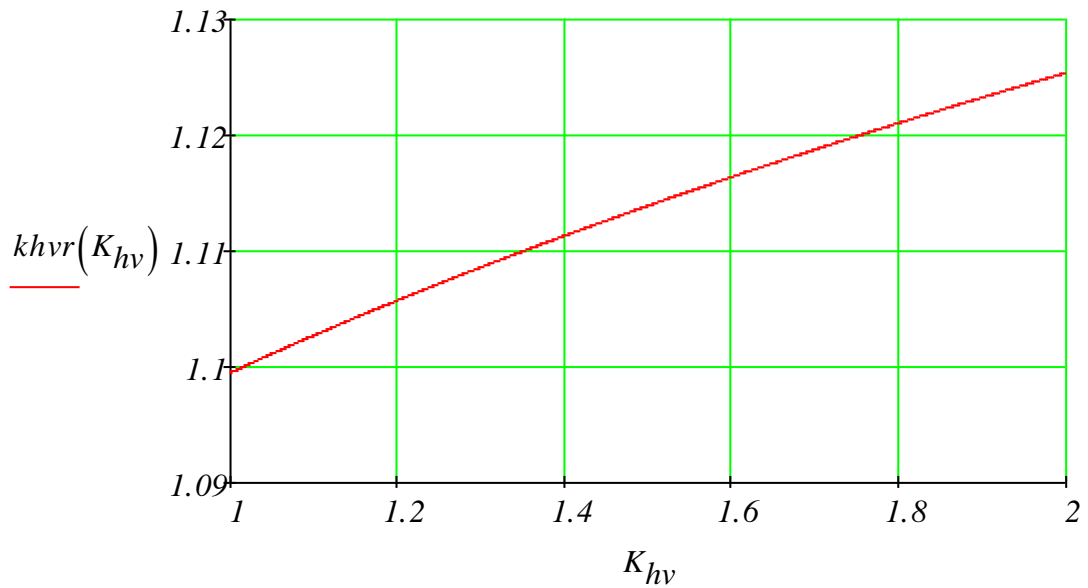
$$dw1(K_{hv}) := \sqrt[3]{\frac{12270^2 \cdot zn^2 \cdot z\varepsilon^2 \cdot T1 \cdot un \cdot K_{hv} \cdot Kh\beta}{\psi bd \cdot u \cdot \sigma^2}}$$

$$mh(K_{hv}) := \frac{dw1(K_{hv})}{z1}$$

$$v(K_{hv}) := \pi \cdot dw1(K_{hv}) \cdot \frac{n}{60000}$$

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

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

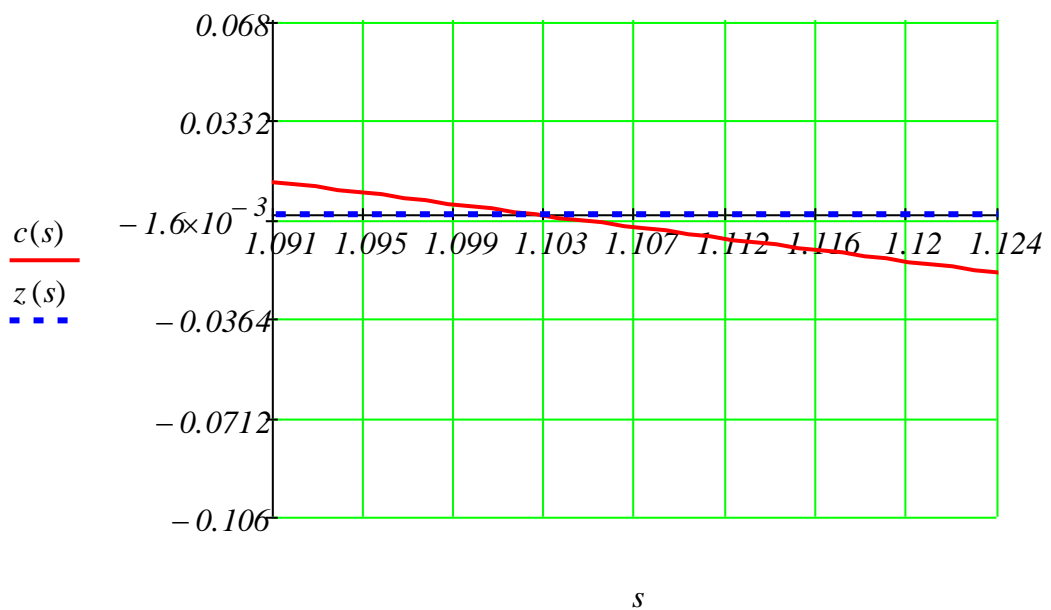


$$sp := 1,$$

$$s_{\text{min}} := sp, (sp + 0.001) .. 2$$

$$c(s) := khvr(s) - s,$$

$$z(s) := 0$$



$$s := sp$$

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

$$Khv = 1.103$$

$$e(b) := khvr(b) - Khv,$$

$$e(Khv) = 1.259 \times 10^{-13}$$

Проведені вище розрахунки дозволили нам визначити те значення коефіцієнта динамічності ($K_{hv} = 1.103$), що із найбільшою точністю характеризує досліджуване прямозубе зачеплення.

Діаметр шестерні по умові контактної міцності

$$d_{w1} := \sqrt[3]{\frac{12270^2 \cdot z_n^2 \cdot z_\varepsilon^2 \cdot T_1 \cdot u_n \cdot K_{hv} \cdot K_{H\beta}}{\psi_{bd} \cdot u \cdot \sigma^2}} = 43.092$$

Максимально допустимий модуль по контактним напруженням

$$m_{hr} := \frac{d_{w1}}{z_1} = 2.052 .$$

Коефіцієнт модуля для прямозубих передач $k_m := 14$.

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

$$K_{f\beta 1} := 0.759 + 1.081 \cdot \psi_{bd} - 0.985 \cdot \psi_{bd}^2 + 0.423 \cdot \psi_{bd}^3 + 0.232 \cdot k_{od}$$

$$K_{f\beta 2} := 0.380 \cdot \psi_{bd} \cdot k_{od}^2 + 0.313 \cdot \psi_{bd}^2 \cdot k_{od} - 0.0549 \cdot k_{od}^2 - 1.022 \cdot \psi_{bd} \cdot k_{od}$$

$$K_{f\beta} := K_{f\beta 1} + K_{f\beta 2} = 1.399 .$$

Коефіцієнт, що враховує форму зуба шестерні

$$Y_f := 3.518 + \frac{6.0}{z_1 - 10} - \frac{0.11}{z_1 - 16} + (z_1 - 60) \cdot 0.00034$$

Допустимі напруження згину

$$\sigma_f := 200 \text{ МПа} .$$

Мінімально допустимий модуль по напруженнях згину

$$m_f := k_m \sqrt{\frac{T_1 \cdot K_{f\beta} \cdot Y_f}{z_1^2 \cdot \psi_{bd} \cdot \sigma_f}} = 0.764$$

$$m_f = 0.764 , \quad m_{hr} = 2.052$$

Автоматизований вибір мінімально допустимого значення модуля із розрахункових та його приведення до найближчого більшого нормального значення модуля прямозубого зубчастого зачеплення.

$$q := 1..5, \quad qq := 6..8, \quad r := 9, \quad j := 1..14$$

$m_{qq} :=$

1
1.25
1.75
2
2.5

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

$qqq := r..14$

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

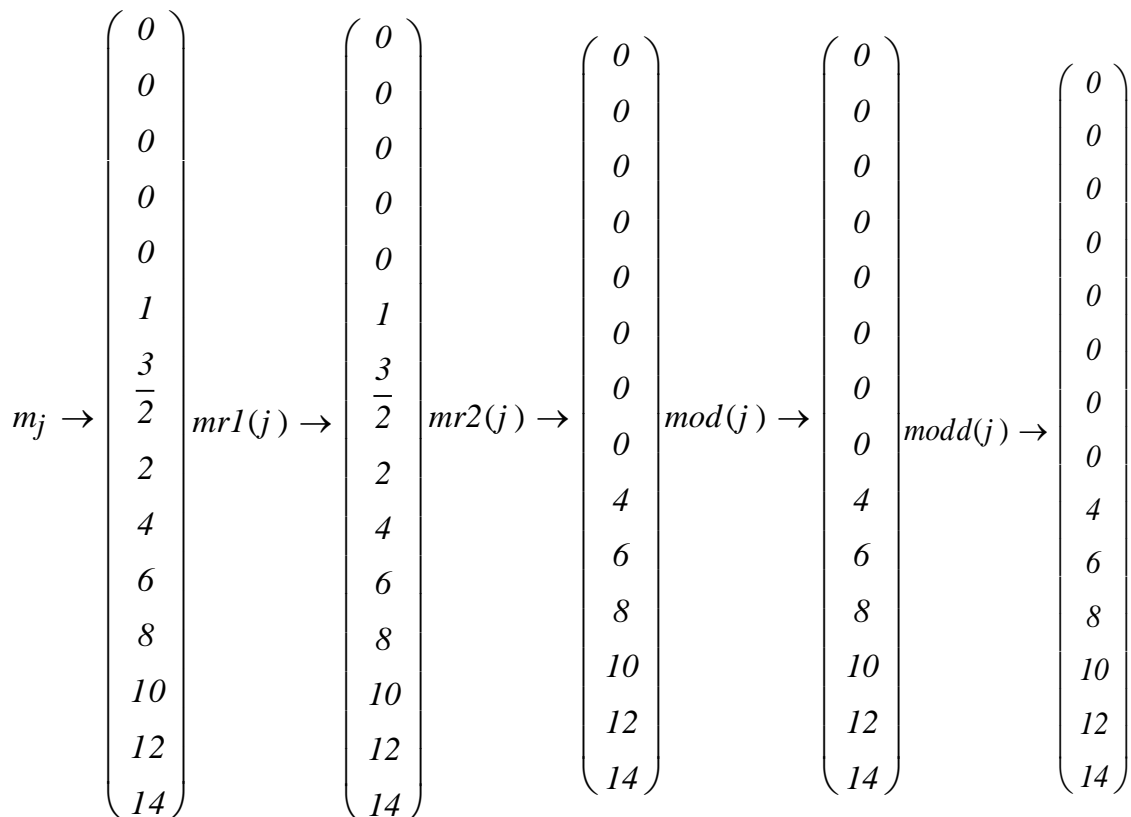
$m_{qqq} := m_8 + 2 \cdot qr(qqq)$

$mr1(j) := \text{if}(mf < m_j, m_j, 0)$

$mr2(j) := \text{if}(mhr < m_j, m_j, 0)$

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

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



Прийmemo значення модуля 4 мм.

4.5 Економічна ефективність індукційного наплавлення дисків

Випуск продукції визначають [17]

$$N_B = N_{\text{пот}} + N_K + N_{\text{зп}} \quad (4.1)$$

де $N_{\text{пот}}$ - деталей на програму виробів, шт;

N_K - кількість деталей з інших заводів;

$N_{\text{зп}}$ - кількість запасних деталей.

$$N_{\text{пот}} = N_i \cdot D \quad (4.2)$$

де N_i - програма випуску готових деталей;

D - кількість заготовок, яка витрачається на виріб, шт.

Тоді $N_{\text{пот}} = 6000 \cdot 12 = 72000$ шт.

Згідно заводський даних:

$$N_K = 78000 \text{шт}; N_{\text{зп}} = 30000 \text{шт.}$$

Загальна програма випуску

$$N_B = 72000 + 78000 + 30000 = 180000 \text{ шт.}$$

Потреба у кількості основних робітників [17]

$$P = \frac{T_{\text{шт}} \cdot V_{\text{г}}}{60 \cdot \text{Фдр} \cdot K \cdot M'} \quad (4.3)$$

тут

Фдр - дійсний річний фонд часу робочого (год.);

M - коефіцієнт багатостатного обслуговування.

$$P = \frac{0.76 \cdot 180000}{60 \cdot 1830 \cdot 1.1 \cdot 1.2} = 0.95.$$

За розрахунками необхідно одного терміста.

Результати розрахунку представленні в таблицю 4.1

Необхідну кількість матеріалів приведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Витрати на матеріали

Найменування матеріалу	Марка	Витрата на одиницю, кг	Річна витрата, т	Ціна т (грн/т)	Сума в грн	Транс-портно заготовельні витрати	Загальна вартість
Заготовка	Сталь	5,94	1069,2	25000	26730000,00	1336500	28066500,00
Сормайт	ПГ-СІ	0.3	54	100000	5400000,00	270000	5670000,00
Разом		5,94	1123,20	125000,00	32130000,00	1606500,00	33736500,00

Витрати на виготовлення дика культиватора розраховані за методикою [17] та приведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Кошторис витрат на напавлення виробу

№ п/п	Найменування статей	Сума за рік, грн
1	2	3
1.	Основні матеріали, покупні вироби і напівфабрикати за вирахуванням відходів	33736500
2.	Паливо і енергія для технологічних цілей	115033,1
3.	Основна і додаткова з-п виробничих робітників	144 000
5.	Витрати на підготовку і освоєння виробництва	166000
5.	Відшкодування зношування інструментів і пристосувань цільового призначення	23415,4
6.	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	249761,8
7.	Цехові витрати	84341,25
Разом цехова собівартість		34375051,55
8.	Загальнозаводські витрати	3819450,172
	Разом виробничі(заводська)собівартість	1497033,495
9.	Позавиробничі витрати	7893238,014
	Разом повна собівартість	13209721,68
10.	Прибуток	21165329,87
	Випуск в оптових цінах	168,9725086

Результати розрахунків собівартості наплавлених деталей подано в таблиці 4.3

Таблиця 4.3 - Калькуляція собівартості виробу

№ п/п	Найменування статей	Витрати на одиницю, грн.
1.	Основні матеріали(за вирахуванням відходів)	187,43
2.	Енергія для технічних цілей	0,64
3.	Основна заробітна плата	0,80
4.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	0.3
5.	Відрахування на соцстрахування з зарплати виробничих робітників	0.16
6.	Витрати по освоєнню виробництва нових видів продукції	0.09
7.	Відшкодування зносу інструменту та пристроїв цільового призначення та інші спеціальні витрати	0.13
8.	Витрати з експлуатації та утриманню обладнання	1,39
9.	Цехові витрати	0,47
10.	Цехова собівартість	190,97
11.	Загальнозаводські витрати	21,22
12.	Разом заводська собівартість	8,32
13.	Позавиробничі витрати	43,85
15.	Загальна собівартість	73,39
	Прибуток	117,59
	Оптова ціна	168

Загальна рентабельність визначається як відношення балансового прибутку (Π_6) підприємства до середньорічної вартості основних фондів (Φ_0) і нормованих оборотних коштів (Φ_{06})

$$P_{06} = \frac{\Pi_6}{\Phi_0 + \Phi_{06}} 100\% \quad (4.4)$$

$$P_{06} = \frac{25915.39}{418832.3 + 480216.7} = 25.2\%$$

Економічний ефект від запропонованих нововведень:

$$E = (Z_1 - Z_2)A_2 = ((C_1 + E_H K_1) - (C_2 + E_H K_2))A_2 \quad (4.5)$$

Z_1, Z_2 - затрати на одиницю продукції заводської і запропонованої технологій, грн;

A_2 - програма випуску.

$$K_1 = \frac{488625.0}{180000} = 27.1.$$

$$K_2 = \frac{418832.3}{180000} = 23.3.$$

$$E_p = ((1.49 + 0.15 \cdot 27.1) - (1.296 + 23.3 \cdot 0.15))180000 = 451800 \text{ грн.}$$

Зменшення собівартості:

$$\Delta C = \left(\frac{C_1 - C_2}{C_1} \right) \cdot 100\%, \quad (4.6)$$

де C_1, C_2 – собівартість одиниці продукції по базовому і проектному варіантах, грн..

$$\Delta C = \left(\frac{26.5 - 19.5}{26.5} \right) \cdot 100\% = 26,4\%$$

Термін окупності:

$$T_{ок} = \frac{\Phi_{осп} - \Phi_{осз}}{E_{ур}}, \quad (4.7)$$

де $\Phi_{осп}$ – вартість основних виробничих фондів по проектному варіанту, грн. ;

$\Phi_{осз}$ – вартість основних виробничих фондів по заводському варіанту, грн. ;

$E_{ур}$ – умовна річна економія, грн.

$$E_{ур} = B \cdot (C_{nz} - C_{nn}), \quad (4.8)$$

$$E_{ур} = 72000 \cdot (26,5 - 19,5) = 504000 \text{ грн.};$$

$$T_{ок} = \frac{480216.7 - 210216.7}{504000} = 0,536 \text{ року.}$$

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Оцінка шкідливих факторів, які виникають при наплавленні та заходи для зменшення їх впливу

Виконання заготівельних та наплавлувальних робіт на машинобудівному підприємстві при неправильній організації підприємства та праці приводить до появи небезпечних та шкідливих факторів виробництва, які при несприятливому збігу обставин можуть викликати нещасні випадки, отруєння та професійні захворювання.

При зварюванні та різанні металів повітряне середовище виробничих приміщень може забруднюватись зварювальним аерозолем, що містить пил, шкідливі гази та випаровування, наприклад, газоподібні фтористі сполуки, оксид вуглецю, оксиди азоту, азот та інші.

Наявність шкідливих речовин в робочій зоні може привести до виникнення у зварювальників професійних захворювань: інтоксикації та пневмоконіозу. Негативно впливають на здоров'я теплове випромінювання нагрівальних пристроїв, нагрітих великогабаритних виробів та переохолодження організму в холодний період року. Робота устаткування може супроводжуватись шумом та вібраціями, шкідливими для здоров'я. Неправильна експлуатація електричного устаткування може створити небезпеку ураження електричним струмом.

Потужне ультрафіолетове чи світлове випромінювання зварювальної дуги при дії на очі працюючого може викликати електроофтальмію, а при тривалій дії інфрачервоного випромінювання може розвинути помутніння кришталика - катаракта.

При проектуванні та експлуатації підприємств із зварювальним виробництвом мають бути проведені заходи профілактики виробничого травматизму та професійних захворювань, в першу чергу по знищенню шкідливих та небезпечних виробничих факторів, а якщо ліквідація

небезпечних та шкідливих факторів утруднена технічно чи економічно, по їх нейтралізації та захисту від них.

Санітарно-гігієнічні умови та обов'язкові заходи по охороні праці в зварювальному виробництві регламентуються системою стандартів безпеки праці, правилами техніки безпеки та виробничої санітарії при виконанні окремих видів робіт, правилами будови і безпечної експлуатації окремих видів устаткування, єдиними вимогами безпеки до конструкції устаткування, нормами технічного проектування, різноманітними інструкціями, вказівками, правилами та іншими документами.

Однак в складально-наплавлювальних цехах часто прагнуть зменшити шум на шляху його розповсюдження, застосовуючи для цього звукопоглинання та звукоізоляцію.

Все електроустаткування наплавлювальних цехів та ділянок має відповідати правилам будови електроустановок. Крім того, слід виконувати вказівки по експлуатації та безпосередньому обслуговуванні електроустановок, які є в інструкціях заводів-виробників.

Під'єднання та від'єднання від мережі електронаплавлювальних установок, а також спостереження за їх справним станом в процесі експлуатації мають виконуватись електротехнічним персоналом підприємства. Для проведення електронаплавлювальних робіт допускаються електрозварювальники з кваліфікаційною групою по техніці безпеки не нижче другої.

Для захисту тіла робітника від теплових, механічних та інших впливів застосовують спеціальний одяг (штани, куртки, комбінезони, рукавиці) та спеціальне взуття, які повинні відповідати характеру виконуваної роботи та метеорологічним умовам на робочому місці. Захист органів дихання здійснюється шляхом застосування респіраторів та протигазів, інколи застосовують зварювальні маски з подаванням в них чистого повітря. Для захисту обличчя та очей від дії променевої енергії електричної дуги, а також

від іскор та бризк розплавленого металу зварювальники повинні забезпечуватись щитками або масками, а допоміжні робітники - окулярами.

В якості засобів індивідуального захисту від шуму (протишумів) застосовують вкладиші, навушники та шоломи. Вкладиші - суцільні чи з каналом в середині заглушки, встановлюються в зовнішній слуховий прохід. Заглушки послаблюють шум на 5...7 дБ при частотах до 500 Гц і на 15дБ при частотах більше 3000 Гц. Суттєвим недоліком будь-яких вкладишів є можливість подразнення слухового проходу.

Для індивідуального захисту людей, обслуговуючих електроустановки, від ураження електричним струмом використовуються ізолюючі штанги та кліщі, ізольований інструмент, діелектричні пальчата та рукавиці, діелектричні боти та калоші, діелектричні коврики, мати та підставки. Всі перераховані вище засоби індивідуального захисту періодично випробовуються на пробій і маркуються у відповідності з діючими правилами.

При виконанні наплавлювальних робіт необхідно забезпечити захист робітника від ураження електричним струмом та електромагнітного випромінювання.

5.2 Розрахунок захисного заземлюючого пристрою

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; при любій 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 [18].

Завдання: розрахувати захисне заземлення ділянки 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 сталеву стрічкою шириною $e = 0,04$ м. Коефіцієнти використання заземлювачів η_z і з'єднувальної стрічки η_c . Крок між заземлювачами рівний d . Заглиблення верхнього кінця трубки і з'єднувальної стрічки $H = 0,7$ м. Питомий опір ґрунту ρ .

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

Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту ρ_p в якому має бути розміщений заземлювач за формулою:

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

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

Звідси:

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

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

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

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:

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

Визначаємо необхідну кількість заземлювачів за формулою:

$$n = \frac{R_3}{R_f \times \eta_3}, \quad (5.3)$$

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:

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

Звідси:

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

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 $R_{зп} \leq 4 \text{ Ом}$.

5.3 Стійкість роботи підприємства в надзвичайних ситуаціях

Цивільна оборона України зорганізується за територіально-виробничим принципом на всій території і являє собою сукупність структур державного управління, підприємств, організацій і спеціально створених органів керівництва та сил цивільної оборони. Заходи цивільної оборони проводяться на всій території держави, як правило, з врахуванням особливостей кожного району.

Територіальний принцип полягає в організації цивільної оборони на території областей, міст і районів, сільських місцевостей відповідно до адміністративного поділу території. Згідно з цим, відповідальність за стан цивільної оборони на цих територіях несуть виконавчі органи влади, а начальниками цивільної оборони, які безпосередньо здійснюють керівництво цивільною обороною є голови виконавчих органів влади.

Виробничий принцип полягає в організації цивільної оборони в кожній установі, підприємстві.

На цивільну оборону підприємства покладені такі основні обов'язки:

- оповіщення працівників та членів їх сімей при загрозі нападу, стихійного лиха і катастроф;
- забезпечення сховищами працюючої зміни, підтримка в сані постійної готовності захисних споруд і спеціальних споруд ЦО;

- проведення заходів, що забезпечують стійкість роботи об'єкту в мирний та воєнний час;
- створення, підготовка і підтримка в постійній готовності сил ЦО об'єкту.

Сучасний типовий комплекс промислового підприємства складають споруди і будівлі, в яких розміщуються виробничі цехи, верстатне і технологічне обладнання, будівлі енергетичного господарства, системи енергопостачання, інженерні і паливні комунікації, окремо розташовані технологічні установки, мережа внутрішнього транспорту, системи зв'язку і управління, складське господарство, різноманітні будівлі і споруди адміністративного, побутового і господарського призначення [19].

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі магістра розроблено питання щодо обґрунтування параметрів індукційного наплавлення робочих органів ґрунтообробних машин, в тому числі індукційного наплавлення дисків культиватора та проведено моделювання та експериментальні дослідження їх напружено-деформіваного стану.

В роботі проаналізовано можливі технології наплавлення тонких плоских деталей та обґрунтовано спосіб та параметри режиму індукційного наплавлення. Показано, що застосування запропонованих прийнятих технологічних рішень дозволяє зменшити залишкові напруження та деформування деталей після наплавлення. Для реалізації запропонованої технології запропоновано та вдосконалено автоматичну лінію для неперервно-послідовного наплавлення дисків культиватора, що дозволяє збільшити обсяги виробництва та покращити якість наплавлених деталей.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Марочник сталей и сплавов / Под ред. В.Г.Сорокина. –М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
2. Сенчишин В.С. Современные методы наплавки рабочих органов почвообрабатывающих и уборочных сельскохозяйственных машин (обзор) / Сенчишин В.С., Пулька Ч.В. // Автомат. сварка №9. - 2012. - С. 48-54.
3. С.М. Герук, К.В. Борак Зміцнення робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь / Вісник ЖНАЕУ № 2, 2009, С.212-218.
4. Наплавка рабочих органов сельхозмашин с помощью электронного ускорителя / Л.П.Фоминский, М.В.Левчук, А.Ф.Байсман и др. // Сварочное производство. — 1987. - №11.- С.4-6.
5. Упрочнение деталей лучом лазера / Коваленко В.С., Головки Л.Ф., Меркулов Г.В., Стрижак А.И; Под общ. ред. Коваленко В.С. - Киев: Техніка, 1981. - 131 с.
6. Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин / Ткачев В.Н – М.:Машиностроение, 1971.- 264 с.
7. Наплавочные материалы стран-членов СНГ. Каталог. - 1979. — 610 с.
8. Номенклатура высокочастотного, среднечастотного и ультразвукового оборудования (1985-1990 гг.). - М.: Внешторгиздат. - № ЛО-362. - 97 с.
9. <http://aramis.com.ua/oborudovanie/stanki-lazernoy-rezki/ltc-pro.html>
10. Шаблій О., Михайлишин М., Михайлишин В., Пулька Ч. Математичне моделювання виникнення залишкових напружень, деформацій та переміщень при індукційному наплавленні тонких сталевих дисків //Вісник Тернопол. держ. техн. ун-ту ім. Івана Пулюя. — 1998. — 3, число 4. -С. 5-12.
11. Махненко В.И., Великоиваненко Е.А., Рыбаков А.А. Деформации в высокотемпературной зоне свариваемых тонких пластин // Автомат. сварка.- 1974.- № 5 - С. 31-35.

12. Шаблій О.Н., Михайлишин М.С. Определение полей остаточных перемещений, деформаций и напряжений, возникающих в результате наплавки тонкой пологой конической оболочки // Мат. методы и физико-механ. поля. - 1978 - №7. - С. 90-95.
13. Шаблій О.М., Пулька Ч.В., Письменний О.С. Регулювання залишкових переміщень при індукційному наплавленні тонких металевих конструкцій // Матеріали міжнародної конференції «Сварочные конструкции». – Київ: НТК ІЭС ім. Е.О. Патона, 2000. – С. 64-65.
14. Пулька Ч.В. Влияние режимов индукционной наплавки на толщину наплавленного слоя и величину деформации тонких стальных дисков [текст] /Пулька Ч.В. Автомат. сварка – 1997. – № 10. – С. 57-58.
15. Пулька Ч.В. Механізована лінія для неперервно-послідовного індукційного наплавлення тонких фасонних дисків // Вісник Тернопільського державного технічного університету ім. Івана Пулюя. - 2002. - Т. 7, № 2.-С. 83-90.
16. Шаблій О.М., Пулька Ч.В., Шарик М.В. Вдосконалення обладнання для індукційного наплавлення ножів-гичкорізів // Вісник Тернопільського Державного технічного університету ім. Івана Пулюя. - 2003. - Т. 8, № 1-С. 36-43.
17. Шпак Р.І. Техніко–економічне обґрунтування інженерних рішень: методичні вказівки до виконання організаційно–економічної частини дипломних проектів / Р.І. Шпак.– Тернопіль, 2006–29с.
18. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві Навчальний посібник. / О.Г. Левченко – К.: Основа, 2010. – 240 с.
19. Стеблюк М.І. С79 Цивільна оборона. Підручник. – К.: Знання, 2006 – 487 с.

ДОДАТКИ