

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона

Кафедра лазерної техніки та фізико-технічних технологій

До захисту допущено:

В. о. завідувача кафедри

_____О. Д. Кагляк

15 червня 2023 р.

Дипломний проєкт

на присвоєння кваліфікації бакалавра з прикладної механіки за освітньо-професійною
програмою **«Лазерна техніка та комп'ютеризовані процеси фізико-технічної
обробки матеріалів»**

спеціальності **131 «Прикладна механіка»**

на тему: **«Підвищення ефективності технологічного процесу виготовлення валу
редуктора сівалки»**

Виконав: студент IV курсу, групи МЛ-91

Кочерга Антон Сергійович _____

Керівник:

доцент кафедри ЛТФТ

к.т.н., Лесик Дмитро Анатолійович _____

Рецензент: к.т.н., Степанов Денис Володимирович

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

РЕФЕРАТ

Дипломний проект освітнього рівня «Бакалавр» спеціальності 131 Прикладна механіка за освітньою програмою «Лазерна техніка та комп'ютеризовані процеси фізико-технічної обробки матеріалів». Кочерга Антон Сергійович. Керівник Лесик Дмитро Анатолійович. КПП ім. Ігоря Сікорського. Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона, кафедра «Лазерної техніки та фізико-технічних технологій». Група МЛ-91. 2023. – 69 с

Пояснювальна записка складається із вступу, 3 розділів, висновку, переліку посилань із 36 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 69 с. Основного тексту, 33 рисунків, 7 таблиць.

Метою даної роботи є підвищення ефективності технологічного процесу виготовлення валу редуктора сівалки із якісної конструкційної сталі 30ХГСА. Існує декілька проблем, що виникають під час виконання процесу підвищення ефективності виготовлення валу, витрати ресурсів та необхідність високотехнологічного обладнання, що призводить до збільшення витрат, як фінансових, так і фізичних.

На сьогоднішній день однією з перспективних ідей є використання дискового лазера для поверхневого зміцнення валу. У цій дипломній роботі проводиться дослідження причин зносу валу сівалки, розглядаються різні способи сучасного зміцнення та пропонується метод лазерної термообробки за допомогою дискового лазера.

ABSTRACT

Diploma project of the educational level "Bachelor", specialty 131 Applied Mechanics under the educational program "Laser technology and computerized processes of physical and technical processing of materials". Anton S. Kocherha. Supervisor is Dmytro A. Lesyk. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. E.O. Paton Institute of Materials Science and Welding, Department of Laser Systems and Advances Technologies. ML-91 group. 2023. – P. 69.

The explanatory note consists of an introduction, 3 chapters, conclusion, and a list of references of 36 items. The total volume of the work is 69 pages. The main text, 33 figures, 7 tables.

The purpose of this work is to improve the efficiency of the technological process of manufacturing a seeder gearbox shaft from high-quality structural steel 30KhGSA. There are several problems that arise during the process of increasing the efficiency of shaft manufacturing, the consumption of resources and the need for high-tech equipment, which leads to an increase in costs, both financial and physical.

Today, one of the promising ideas is the use of a disk laser for surface hardening of shaft. In this diploma work, we study the causes of wear of the seeder shaft, review the current methods of modern hardening, and propose a method of laser heat treatment using a disk laser.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	5
1.1. Розробка технологічного процесу	5
1.1.1. Технологічний контроль креслення, аналіз службового призначення та умов роботи деталі у вузлі	5
1.1.2. Визначення типу і форми організації виробництва, відпрацювання конструкції деталі на технологічність.....	7
1.1.3. Вибір заготовки й розробка маршрутного технологічного процесу, створення керуючих програм	13
1.2. Розробка операційного технологічного процесу	24
1.2.1. Табличний метод визначення припусків на обробку	24
1.2.2. Розрахунок режимів різання: аналітичний і табличний методи	25
2. ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА РОЗРОБКА СПЕЦПРИСТРОЇВ	32
2.1. Верстати	32
2.2. Розроблення спецпристроїв	40
2.2.1. Самоцентрувальні машинні лещата	40
2.2.2. Самоцентрувальний важільно-клиновий патрон з пневмоприводом	41
3. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ	45
3.1. Дослідження напруженого стану валу в умовах експлуатації.....	45
3.2. Шляхи підвищення зносостійкості та корозійної стійкості конструкційних сталей	47
3.2.1. Конструкційні матеріали	47
3.2.2. Обґрунтування вибору методу поверхневого зміцнення конструкційних сталей.....	49
3.3. Лазерне поверхневе зміцнення сталевих виробів високопотужними лазерами	50
3.3.1 Лазерне зміцнення середньовуглецевих сталей	50
3.3.2. Умови та рішення для підвищення якості поверхневого шару	51
3.4. Особливості методу лазерного поверхневого термозміцнення для підвищення експлуатаційних властивостей конструкційних сталей	52
3.5. Дослідження твердості та шорсткості поверхні сталі 30ХГСА	55
3.6. Технологічні рекомендації для практичної реалізації лазерного термозміцнення валу	62
ВИСНОВКИ	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	64

						Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Машинобудівна промисловість поставляє продукцію всім галузям господарства і є одним з основних його ланок. Технологічний прогрес та подальше зростання всіх галузей господарства в значній мірі залежить від розвитку машинобудування та від зростання його технологічної культури.

Даний дипломний проект призначений для розробки й удосконалення технологічного процесу виготовлення валу (108.00.6025) редуктора сівалки зернотукової СЗ-5,4 внаслідок швидкого виходу із ладу/експлуатації, що призводить до витрат часу/коштів на його заміну.

Застосування лазерного поверхневого термооброблення, в якості фінішної операції, дозволить підвищити надійність та довговічність даної деталі у вузлі механізму передач (108.00.2020-07-2Т) за рахунок підвищення фізико-механічних властивостей поверхневого шару. Таким чином, збільшення ресурсу роботи валу механізму передач є актуальною проблемою та має велике практичне значення.

Метою даної роботи є підвищення ефективності технологічного процесу виготовлення валу редуктора сівалки із якісної конструкційної сталі 30ХГСА.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- розробка технологічного процесу виготовлення деталі «вал механізму передач», вибір устаткування та інструменту;
- розробка керуючих програм;
- проектування пристроїв для виконання деяких операцій;
- дослідження напруженого стану валу в умовах експлуатації;
- вибір методу поверхневого зміцнення найбільш навантажених поверхонь валу;
- дослідження впливу лазерного термозміцнення на якісні показники поверхневого шару сталі 30ХГСА;
- розробка технологічних рекомендацій для лазерного термозміцнення валу.

						Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Розробка технологічного процесу

Проектування технологічних процесів механічної обробки деталей машин є складною та багатогранною задачею, рішення якої спрямовано на забезпечення заданої якості продукції, зниження її собівартості при заданій продуктивності, скорочення трудових та матеріальних витрат на їхнє виробництво, а також зменшення шкідливих впливів на навколишнє середовище.

1.1.1. Технологічний контроль креслення, аналіз службового призначення та умов роботи деталі у вузлі

При проектуванні технологічного процесу виготовлення виробу «вал механізму передач», вихідним документом було його креслення та як експлуатований, так і не експлуатований вали сівалки зернотукової СЗ-5,4, які отримано на Агрофірмі «Колос» (м. Полонне, Хмельницька обл.). Відомо, що технолог повинен проконтролювати робоче креслення деталі, у відповідності до вимог. У креслення входять відомості, необхідні для якісного виготовлення деталі, які дають повне уявлення про її конструкцію, а також усі проекції, розрізи, перерізи, які пояснюють конфігурацію деталі.

На кресленні зазначені всі необхідні дані для проектування технологічного процесу. Прийнятий конструктором матеріал відповідає умовам роботи деталі у вузлі. Встановлена відповідність точності розмірів та параметрів шорсткості. Як наслідок, у креслення деталі ніяких змін не вносимо.

Мета аналізу службового призначення деталі – виявлення умов роботи деталі у вузлі та, відповідно, визначення, в якій мірі матеріал виробу задовольняє за своїми хімічними та фізико-механічними властивостями поставленим умовам роботи. Також необхідно проаналізувати правильність нанесення розмірів і можливість виконання та контролю заданих конструктором розмірів.

						Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Усі вказані на кресленні відомості дозволять зробити висновок про можливий спосіб отримання заготовки і намітити орієнтовний маршрут виготовлення деталі. Для правильної побудови маршруту виготовлення деталі звернемо увагу на її конструктивні особливості і службове призначення.

Згідно індивідуального завдання, пропонується використати якісну конструкційну середньолеговану сталь 30ХГСА для виготовлення валу редуктора, яка краще працює при знакозмінних навантаженнях.

Річна програма випуску досліджуваної деталі складає 10 000 шт. Вал редуктора – деталь, що обертається навколо своєї осі, призначена для передачі руху зв'язаним з нею частинам машини чи механізму, складовою яких вона є. При цьому вал передає крутний момент вздовж своєї осі та забезпечує підтримання обертових деталей машин, котрі на ньому розміщені. Крутні моменти передаються за допомогою сил, що діють з боку механічних передач в нашому випадку зачеплення зубчастих коліс передачі. Тому на вали діють також згинальні моменти та осьові навантаження.

Сталь 30ХГСА (також відома як 30ХГСАР) є легованою конструкційною сталлю, яка використовується для виробництва деталей, що працюють в напруженому стані із високою міцністю і зносостійкістю. Наявність хрому стабілізує аустеніт, а також є активним карбідоутворювачем. Основні характеристики цієї сталі визначаються її хімічним складом та обробкою.

Хімічний склад сталі 30ХГСА є наступним:

Вуглець (C): 0,27-0,35%

Кремній (Si): 0,17-0,37%

Марганець (Mn): 0,50-0,80%

Хром (Cr): 0,80-1,10%

Нікель (Ni): 0,30-0,60%

Молібден (Mo): 0,15-0,25%

Фосфор (P): не більше 0,035%

Сірка (S): не більше 0,035%

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	6

Цей склад хімічних елементів додає сталі 30ХГСА властивостей, які забезпечують їй міцність, твердість та зносостійкість. Вміст хрому та молібдену підвищує міцність сталі, а також робить її стійкою до зносу і ударних навантажень [1, 2].

Сталь 30ХГСА піддається термічній обробці, такій як гартування і відпуск, для поліпшення її механічних властивостей. Після гартування вона отримує високу твердість, що сприяє зносостійкості, а відпуск покращує пластичність і міцність.

Сталь 30ХГСА застосовується для виготовлення різноманітних деталей, таких як валки, зубці, шестерні, осі, підшипникові кільця та інші складні механічні деталі, які працюють у важких умовах.

Важливо зазначити, що описані вище характеристики сталі 30ХГСА є загальними, і можуть бути деякі відмінності в залежності від виробника або конкретних вимог специфікацій [3].

В результаті аналізу службового призначення деталі і умов роботи її у вузлі встановлено, що матеріал досліджуваного валу сталь 30ХГСА відповідає заданим умовам роботи.

1.1.2. Визначення типу і форми організації виробництва, відпрацювання конструкції деталі на технологічність

Одним з основних принципів побудови технологічного процесу є принцип суміщення технічних, економічних та організаційних задач, що вирішуються за даних умов виробництва. Проектувальний технологічний процес безумовно повинен забезпечити виконання всіх вимог до точності та якості виробу, які передбачені кресленням та технічними умовами. При цьому виготовлення виробу повинно супроводжуватися найменшими затратами праці й мінімальною собівартістю, а також характеризуватися виготовленням виробів потрібної кількості та в терміни, що встановлені виробничою програмою.

В умовах сучасної ринкової економіки підприємство буде успішно працювати лише в тому випадку, якщо воно буде випускати конкурентоздатну

						Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

продукцію, що в першу чергу залежить від собівартості та вчасності її виготовлення. Тому одним з основних напрямків сучасного виробництва є збільшення номенклатури виготовлення деталей та постійна модернізація виробництва з введенням нових технологій [3].

Один з факторів, що знижує собівартість продукції, є правильний вибір типу й організації виробництва та, відповідно, побудова технологічного процесу в повній відповідності до вибраного типу виробництва. Тип виробництва – це класифікаційна категорія виробництва, що визначається за ознаками широти номенклатури, регулярності, стабільності та обсягу випуску продукції. Однією з основних кількісних характеристик типу виробництва є коефіцієнт закріплення операцій $K_{з.о.}$. В залежності від обсягу та характеру випуску деталей розрізняють одиничне, серійне та масове виробництва (див. табл. 1.1.2.1).

Одиничне виробництво – це виробництво, при якому вироби випускаються в невеликій кількості і відрізняється від інших, як конструктивно, так і по розмірах. Повторюваність цих виробів дуже мала або взагалі відсутня. Завод одиничного виробництва побудовані універсальними верстатами при роботі яких використовується універсальний інструмент та універсальні пристрої.

Таблиця 1.1.2.1. Тип виробництва.

$K_{з.о.} = 1$	Масове виробництво.
$1 < K_{з.о.} < 10$	Великосерійне виробництво.
$10 < K_{з.о.} < 20$	Середньосерійне виробництво.
$20 < K_{з.о.} < 40$	Малосерійне виробництво.
$K_{з.о.} \geq 40$	Одиничне виробництво.

Серійне виробництво – це виробництво, при якому виготовлення виробів робиться серіями, що складаються з однотипних, як по конструкції, так і по розмірам, виробам. Вся серія виготовлюється одночасно.

Використовуються разом з універсальним, спеціалізоване обладнання, спеціальний інструмент, спеціальне оснащення.

Масове виробництво – це виробництво при якому велика кількість однакових виробів виготовляється шляхом безперервного виготовлення з застосуванням одних і тих же операцій на постійних робочих місцях [3].

Вибір типу виробництва здійснюється за річною програмою випуску та масою виробу.

Для визначення об'єму валу (рис. 1.1.2.2), розроблено 3D-модель валу з допомогою пакету програмного забезпечення «SolidWorks2014» (рис. 1.1.2.1).

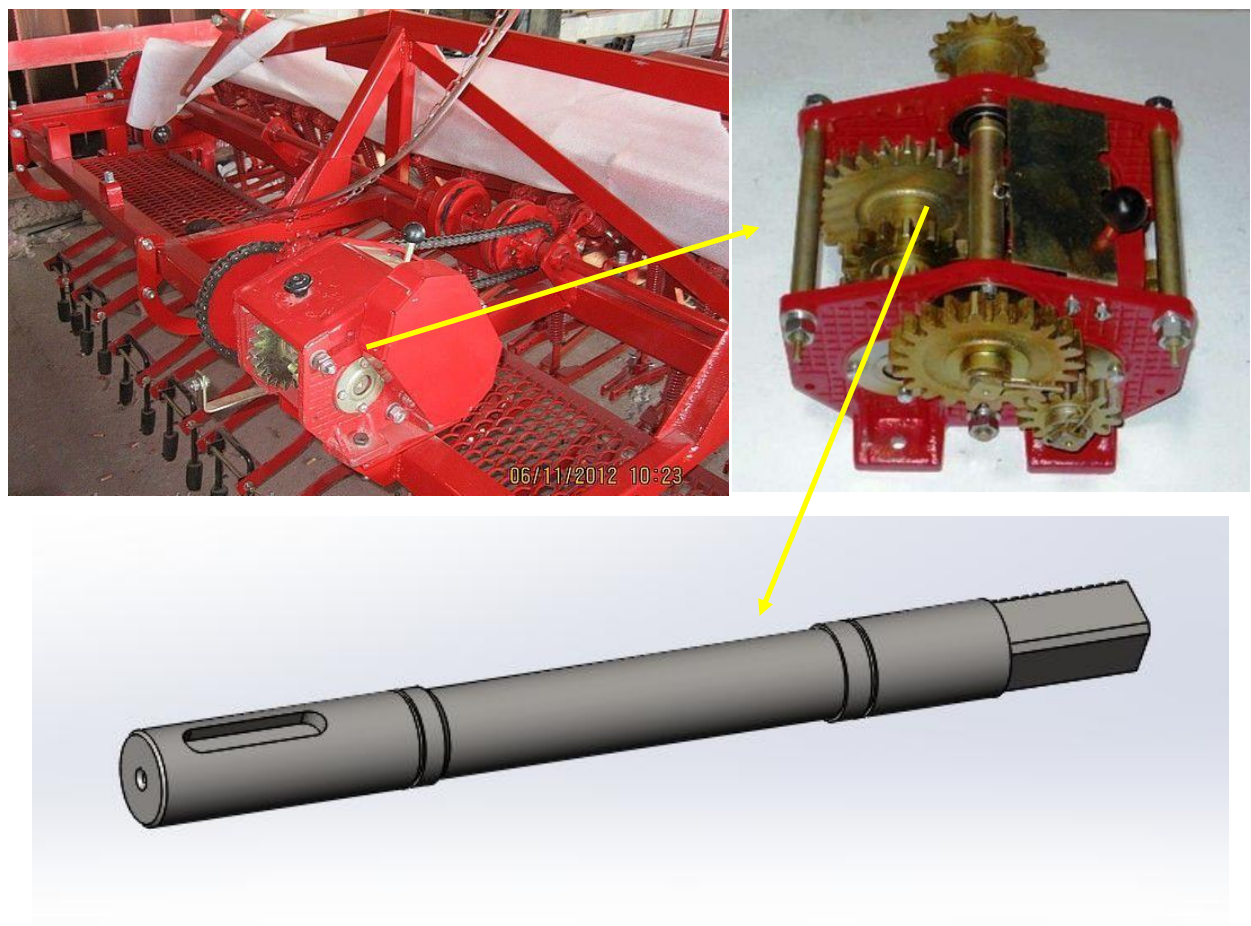


Рисунок 1.1.2.1. 3D-модель валу.

Відповідно до заданої річної програми випуску деталей (10000 шт.), а також величини розрахованої маси деталі ($m = 1$ кг), використовуючи табл. 1.1.2.2., можна зробити висновок, що в нас виробництво для виготовлення валу – середньосерійне.

						Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Объем = 120490.90 кубические миллиметры

Площадь поверхности = 22741.90 квадратных миллиметров

Центр тяжести: (миллиметры)
 X = -12.62
 Y = 0.00
 Z = 135.10

Основные оси инерции и основные моменты инерции: (граммов * квадратные миллиметры)
 центр тяжести
 Ix = (0.00, 0.00, 1.00) Px = 66460.28
 Iy = (-0.00, -1.00, 0.00) Py = 6070214.42
 Iz = (1.00, -0.00, -0.00) Pz = 6071347.00

Моменты инерции: (граммов * квадратные миллиметры)
 Определяются в центре тяжести и выравниваются относительно системы координат вывода.
 Lxx = 6071322.61 Lxy = 0.02 Lxz = 12100.75
 Lyy = 6070214.42 Lyx = 0.02 Lyz = -0.08
 Lzz = 66484.66 Lzx = 12100.75 Lzy = -0.08

Моменты инерции: (граммов * квадратные миллиметры)
 Вычисляется с помощью системы координат вывода.
 Ixx = 23336043.83 Ixy = 0.00 Ixz = -1600663.30
 Iyy = 23485590.14 Iyz = 0.06
 Izz = 217139.16 Izx = -1600663.30 Izy = 0.06

Рисунок 1.1.2.2. Об'ємні та силові параметри деталі.

Результати показують (рис. 1.1.2.2), що об'єм валу у нашому випадку складає $V_{\text{дет.}} = 120491 \text{ мм}^3 = 120,491 \text{ см}^3$.

Масу деталі розраховуємо за формулою:

$$m = V_{\text{дет.}} \cdot \rho = 120,491 \text{ см}^3 \cdot 7,85 \text{ г/см}^3 \approx 946 \text{ г} \approx 0,95 \text{ кг} \approx 1 \text{ кг},$$

де: $\rho = 7,85 \text{ г/см}^3$ (питома густина сталі 30ХГСА).

Кожний тип виробництва характеризується коефіцієнтом закріплення операцій ($K_{\text{з.о.}}$). Значення коефіцієнтом закріплення операцій ($K_{\text{з.о.}}$) приймається для планового періоду, рівному одному місяцю, й розраховується за формулою:

$$K_{\text{з.о.}} = \frac{n_{\text{о.п.}}}{n_{\text{р.м.}}},$$

де: $n_{\text{о.п.}}$ – це кількість різних операцій, що виконуються на даному об'єкті протягом певного періоду часу (місяць), $n_{\text{р.м.}}$ – кількість робочих місць на яких виконуються ці операції, тобто $K_{\text{з.о.}}$ характеризує рівень спеціалізації робочих місць.

						Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1.2.2. Залежність типу виробництва від обсягу випуску та маси деталі.

Маса деталі, кг	Тип виробництва				
	одиничне	малосер.	середньосер.	великосер.	масове
>1,0...2,5	до 10	10...1000	1000...50000	50000...100000	>100000

Серійне виробництво характеризується обмеженою номенклатурою деталей, які виготовляються або ремонтуються партіями, що періодично повторюються, та порівняно великою кількістю випуску деталей.

Для середньосерійного виробництва раціональна потокова форма організації виробництва. Виробничу ділянку організовують за принципом обробки конструктивно схожих деталей (ділянка корпусних деталей). На ділянці використовують універсальне і спеціалізоване устаткування, розставлене в порядку виконання операцій. Для більш рівномірної і ритмічної роботи в серійному виробництві деталі виготовляють партіями.

В будь якому технологічному процесі потрібно прямувати до кращого використання обладнання, як по технічним можливостям так і по часу роботи. Тому при малому завантаженні його слід довантажувати подібними операціями по обробці інших деталей, якщо такий варіант є можливим з організаційної та економічної точки зору.

Можливість збільшення коефіцієнту завантаження обладнання цим шляхом може бути встановлена при аналізі або проектуванні виробничого процесу всього цеху або хоча б його декількох ділянок.

Розмір партії деталей можна визначити за формулою:

$$n = N \cdot t / F,$$

де: N – річна програма випуску деталей, яка становить 10000 шт;
 t – кількість днів, на які необхідно мати запас деталей, у нашому випадку 5 штук (деталь вважаємо малою); F – число робочих днів у році, приймаємо рівним 250 днів.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	11

Підставивши значення в формулу ми отримаємо:

$$n = 10000 \cdot 5 / 250 = 200 \text{ шт.}$$

В результаті вибору типу виробництва встановлено, що всі наступні етапи технологічного проекту будемо проводити для умов середньосерійного виробництва.

Мета аналізу технологічності деталі – виявити можливість зменшення металомісткості деталі, трудомісткості її механічної обробки і використання високопродуктивних методів обробки. Технологічність – це властивості виробу, які забезпечують найбільшу простоту реалізації технологічного процесу.

Відпрацювання на технологічність представляє собою комплекс заходів по забезпеченню необхідного рівню технологічності конструкції по встановленим показникам, направлена на підвищення продуктивності праці, зниженню затрат і скорочення часу на виготовлення виробу при витримувannya її якості.

Оцінка технологічності може бути двох видів: якісна та кількісна. Якісна оцінка характеризує технологічність конструкції взагалі на основі досвіду і допускається на всіх етапах проектування як попередня. Кількісна оцінка технологічності виробу виражається числовим показником і раціональна у тому випадку, коли ці показники сильно впливають на технологічність виробу [4].

Таким чином, матеріал валу (сталь 30ХГСА) має високі механічні властивості, добре оброблюється різанням і не дуже дорогий.

В конструкції деталі необхідно передбачати найбільшу кількість поверхонь, що не оброблюються. Поверхні, що обробляються повинні бути простими. При обробці деталі не потрібно використовувати спеціальний різальний інструмент, всі поверхні є легкодоступні. Забезпечується точне та надійне базування в процесі обробки.

Кількісними показники технологічності є: рівень технологічності конструкції по точності обробки; рівень технологічності конструкції по шорсткості поверхонь; коефіцієнт використання матеріалу; рівень

						Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технологічності конструкції по використанню матеріалу; рівень технологічності конструкції по трудомісткості виготовлення.

Аналіз технологічності конструкції валу механізму передач дозволяє зробити наступні висновки: конструкція відрізняється високою жорсткістю і допускає високі режими різання і широке використання торцевих фрез; конструкція деталі забезпечує вільний доступ ріжучого і вимірювального інструменту до оброблювальних поверхонь; більшість поверхонь можна обробити стандартним інструментом.

В цілому конструкція вала механізму передач технологічна.

1.1.3. Вибір заготовки й розробка маршрутного технологічного процесу, створення керуючих програм

Головним при виборі методу отримання заготовки є забезпечення заданої якості готової деталі при її мінімальній собівартості. Технологічні процеси отримання заготовок визначаються технологічними властивостями матеріалу, конструктивними формами і розмірами деталі та об'ємом виробництва.

Вибрати заготовку – означає визначити спосіб її отримання, розрахувати або підібрати за таблицями припуски на механічну обробку усіх поверхонь і указати допуски на виготовлення заготовки. Заготовки в машинобудуванні можуть бути отримані такими методами: литтям, куванням, пресуванням, штампуванням, з прокату, комбінованими методами [2].

На вибір методу виготовлення заготовки мають вплив: матеріал деталі, її призначення та технічні вимоги на виготовлення, об'єм та серійність випуску, форма та розміри деталі. Правильний вибір виду заготовки багато у чому визначає ефективність процесу обробки різанням, якість деталі, її вартість.

Метод отримання заготовки з прутків прокату зазвичай застосовують у серійному і масовому виробництві. У цих умовах прутки тривалий час перебуває в експлуатації і витрати на його виготовлення окупаються. Форма і розміри прутків з прокату максимально наближені до розмірів і форми деталі, що знижує витрату матеріалу на виріб, скорочує трудомісткість подальшої

						Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

механобробки і витрат на ріжучий інструмент, а також покращує механічні властивості виробу на величину до 30%.

Однак, в міру ускладнення конструкції заготовки, зменшенню припусків, підвищенню точності розмірів і параметрів розташування поверхонь ускладнюється технологічне оснащення заготівельного цеху і зростає собівартість заготовки.

Заготовка повинна мати дещо більші розміри, ніж оброблена деталь, тобто передбачається шар металу, що змінюється при механічній обробці. Цей шар металу носить назву: припуск на обробку. Величина припуску повинна бути найменшою, але при цьому забезпечувати отримання придатної деталі, тобто заготовка за формою і розмірами повинна наближатися до форми і розмірам готової деталі. Головним при виборі заготовки є забезпечення заданої якості готової деталі при її мінімальній собівартості. Собівартість деталі визначається підсумовуванням собівартості заготовці по калькуляції заготівельного цеху і собівартості її наступної обробки до досягнення заданих вимог якості за кресленням.

Вибір заготовки пов'язаний з конкретним техніко-економічним розрахунком собівартості готової деталі, виконуваним для заданого обсягу річного випуску з урахуванням інших умов виробництва [4].

При проектуванні технологічного процесу механічної обробки для конструктивно складних деталей важливо мати дані про конфігурацію та розміри заготовки, а також про наявність у заготовці отворів, порожнин, заглиблень, виступів. При виборі технологічних методів і процесів одержання заготовок враховуються прогресивні тенденції розвитку технології машинобудування. Рішення задачі формоутворення деталей доцільно перенести на заготівельну стадію і тим самим знизити витрату матеріалу, зменшити частку витрат на механічну обробку в собівартості готової деталі.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	14

Для цього необхідно в конструкції заготовки та технології її виготовлення передбачити можливість економії праці і матеріалів шляхом застосування штампованих (штампозварних) заготовок, а також застосування автоматизованих технологічних процесів.

Так як матеріал валу сталь 30ХГСА, то способом отримання заготовки є гаряче прокатування прута. На підставі умов роботи деталі, конструктивних особливостей редуктора, технічних вимог та наявності знакозмінних навантажень, доцільним є отримання заготовок методом прокату.

Це найпростіший та найдешевший метод отримання заготовки, який забезпечує досить високу точність, легко піддається механізації та автоматизації.

Розроблюваний технологічний процес повинен бути прогресивним, забезпечувати підвищення продуктивності праці і якості деталей, скорочення трудових і матеріальних витрат на його реалізацію, зменшення шкідливих впливів на навколишнє середовище [2, 3].

Базовою вихідною інформацією для проектування технологічного процесу є: робочі креслення деталей, технічні вимоги, що регламентують точність, параметр шорсткості поверхні та інші вимоги якості; обсяг річного випуску виробів, що визначає можливість організації поточного виробництва.

На основі попереднього аналізу конструкції (технологічності) валу та його функції у механізмі передач, розроблено технологічний процес обробки валу (табл. 1.1.3.1).

Таблиця 1.1.3.1. Технологічний процес обробки валу.

№ операції	Назва операції та переходи	Верстат	Різальний інструмент
005	Заготівельна А. Отримання заготовки таких розмірів: 290 мм, 30 мм	ORAC MWP8 4	-

						Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

010	Фрезерно-центрувальна А. Встановити, закріпити та зняти деталь. 1. Підрізати торці, витримуючи розмір 285 мм. 2. Свердлити 2 центрувальні отвори Ø4 мм, витримуючи розмір 7 мм 3. Зенкувати 2 внутрішні фаски 2×45° мм.	Багато-опер. верстат IP320-ПМФ	Фреза Ø60 (по ГОСТ9473-80), матеріал – ВК6. Свердло Ø4 (по ГОСТ10902-77), матеріал – Р6М5. Зенківка Ø6 (по ГОСТ2122-80), матеріал – Р6М5.
015	Токарно-багаторіздева А. Встановити, закріпити та зняти деталь. 1. Підрізати поверхню, витримуючи розміри: 87 мм, Ø27 мм. 2. Підрізати поверхню, витримуючи розміри: 87 мм, Ø25,5 мм. 3. Підрізати поверхню, витримуючи розміри: 87 мм, Ø25,1 мм. 4. Нарізати канавку, витримуючи розміри: 2 мм, Ø23 мм.	ORAC MWP8 4	Прохідний відігнутий різець (по ГОСТ 18880-73), матеріал – ВК6. Відрізний збірний різець (по ГОСТ 18874-73), матеріал – ВК6.
020	Токарно-багаторіздева А. Встановити, закріпити та зняти деталь. 1. Підрізати поверхню, витримуючи розміри: 198 мм, Ø27 мм. 2. Підрізати поверхню, витримуючи розміри: 198 мм, Ø25,5 мм. 3. Підрізати поверхню, витримуючи розміри: 198 мм, Ø25,1 мм. 4. Підрізати поверхню, витримуючи розміри: 114 мм, Ø23 мм. 5. Нарізати фаску 2×30° мм. 6. Нарізати канавку, витримуючи розміри: 2 мм, Ø23 мм. 7. Нарізати фаску 1×45° мм.	ORAC MWP8 4	Прохідний відігнутий різець (по ГОСТ 18880-73), матеріал – ВК6. Відрізний збірний різець (по ГОСТ 18874-73), матеріал – ВК6. Прохідний упорний різець (по ГОСТ 18868-73), матеріал – ВК6.
025	Шпоночне фрезерування А. Встановити, закріпити та зняти деталь. 1. Фрезерувати шпоночний паз, витримуючи розміри: 40 мм, 8 мм.	Dyna Myte 2800	Фреза Ø8 (по ГОСТ9140-78), матеріал – ВК6.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

030	Фрезерна А. Встановити, закріпити та зняти деталь. 1. Фрезерувати 4 лиски, витримуючи розміри: 40 мм, 18 мм. 2. Нарізати фаски 1×45° мм.	Дуна Myte 2800	Фреза Ø25 (по ГОСТ9473-79), матеріал – ВК6.
035	Круглошліфувальна А. Встановити, закріпити та зняти деталь. 1. Шліфувати поверхню, витримуючи розміри: 38 мм, Ø25 мм.	Кругло -шліф. верстат 3В130- Ф4	Круг ПП120х25х32 25А 16П СТ1 5К (по ГОСТ 2424-83), матеріал – 25А.
040	Круглошліфувальна А. Встановити, закріпити та зняти деталь. 1. Шліфувати поверхню, витримуючи розміри: 72 мм, Ø25 мм.	Кругло -шліф. верстат 3В130- Ф4	Круг ПП120х25х32 25А 16П СТ1 5К (по ГОСТ 2424-83), матеріал – 25А.
045	Контрольна А. Встановити, закріпити та зняти деталь. 1. Перевірити всі лінійні, кутові та діаметральні розміри. 2. Перевірка шорсткості.	Багато- опер. верстат ІР320- ПМФ.	Штангенциркуль (по ГОСТ 166-89). Мікрометр (по ГОСТ 6507-90). Кутомір (по ГОСТ 5378-88). Еталони шорсткості (по ГОСТ 2789-59).
050	Термообробка (нормалізаційний відпал)	SCHM ETZ типу Е	- температура нагрівання ~850 °С; - температура охолодження у печі до 650 °С; - подальше охолодження (Т < 650 °С) на повітрі навколишнього середовища

055	Лазерне поверхнєве зміцнення	Дисковий лазер TruDisk 8002	- потужність лазер: 1,35–2,55 кВт; - швидкість обробки: 11–13 мм/с; - швидкість сканування лазерного променя: 2000 мм/с; - діаметр лазерного променя: 1 мм
-----	------------------------------	-----------------------------	---

Нижче приведено основні параметри вибраного різального інструменту:

1. Фреза торцева Ø60, матеріал – ВК6. Параметри: $B = 39$ мм, $d = 32$ мм, число зубів – 10.

2. Свердло Ø4, матеріал – Р6М5. Параметри: $L = 117$ мм, $l = 1$ мм.

3. Зенківка Ø6, матеріал – Р6М5. Параметри: $L = 125$ мм, $l = 25$ мм, $d = 25$.

4. Прохідний відігнутий різець з пластиною із твердого сплаву, матеріал – ВК6. Параметри: $H = 16$ мм, $B = 12$ мм, $L = 100$ мм, $m = 7$ мм, $a = 10$ мм, $r = 1$ мм.

5. Прохідний упорний різець з пластиною із твердого сплаву, матеріал – ВК6. Параметри: $h = 16$ мм, $B = 12$ мм, $L = 100$ мм, $m = 6$ мм, $a = 12$ мм, $r = 1$ мм.

6. Відрізний збірний різець з пластиною із твердого сплаву, матеріал – ВК6. Параметри: $H = 16$ мм, $B = 12$ мм, $L = 100$ мм, $m = 5$ мм, $a = 14$ мм, $r = 1$ мм.

7. Фреза пальцева Ø8, матеріал – ВК6. Параметри: $B = 9$ мм, $d = 8$ мм.

8. Фреза Ø25, матеріал – ВК6. Параметри: $B = 17$ мм, $d = 14$ мм, число зубів – 10.

9. Круг ПП 120x25x32 25А 16П СТ1 5К, матеріал – 25А. Параметри: $D = 120$ мм, $d = 32$ мм, $H = 25$ мм, $Z = 40$ Н, $V = 15$ м/с.

В результаті проектування маршрутного технологічного процесу встановлено послідовність оброблення поверхонь валу та визначено вид обладнання, систему оснащення, різальний інструмент, які буде використано.

						Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крім того, розроблено програми керування (див. нижче приведених ілюстрацій) для основних операцій технологічного процесу виготовлення валу на вибраних верстатах з числовим програмним керування (ЧПК).

Операція 005 – Заготівельна

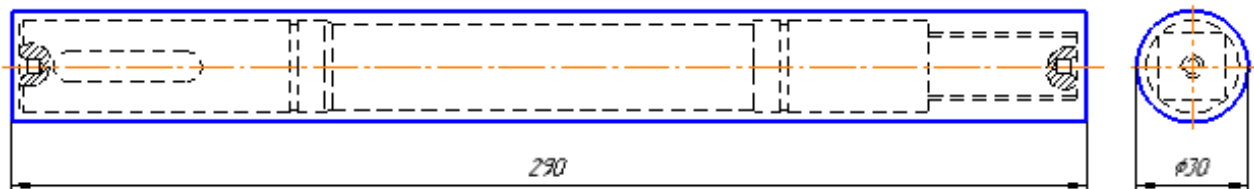


Рисунок 1.1.3.1. Обробка деталі при заготівельній операції.

Операція 010 – Фрезерно-центрувальна

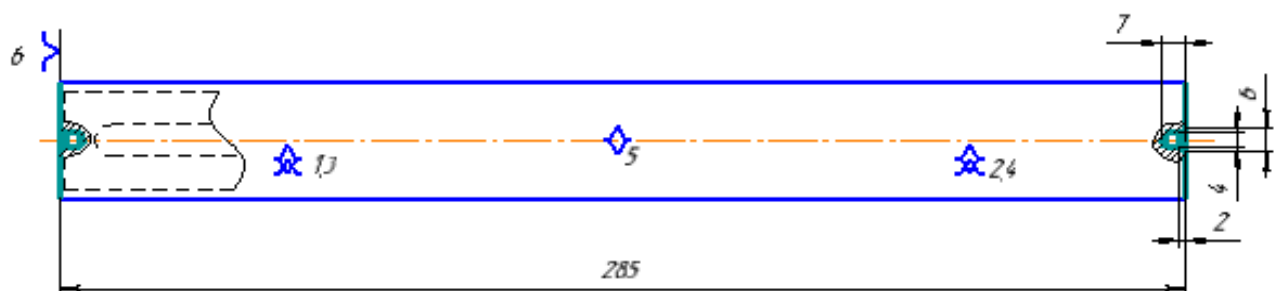


Рисунок 1.1.3.2. Обробка деталі при фрезерно-центрувальній операції.

%	N15G00X305Z15;
N00 Фрезерно-центрув. 010	N16G00X305Z15;
N01G17G21G94;	N17G01X278.5Z15F0.1;
N02M6T1;	N18G00X305Z15;
N03M3S200;	N19M5;
N04G00X305Z15;	N20M6T3;
N05G01X285Z15F0.2;	N21M3S1000;
N06G00X305Z15;	N22G00X305Z15;
N07G00X305Z15;	N23G01X283.2Z15F0.15;
N08G01X285Z15F0.2;	N24G00X305Z15;
N09G00X305Z15;	N25G00X305Z15;
N10M5;	N26G01X283.2Z15F0.15;

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

N11M6T2;

N12M3S800;

N13G00X305Z15;

N14G01X278.5Z15F0.1;

N27G00X305Z15;

N28M5;

%

Операція 015 – Токарно-багаторіздева

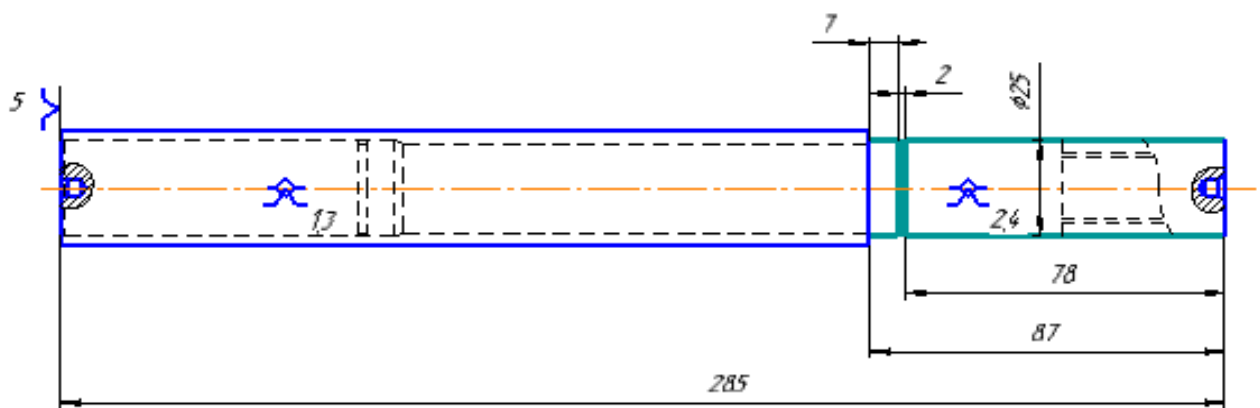


Рисунок 1.1.3.3. Обробка деталі при токарно-багаторіздевій операції.

%

N00 Токарно-багаторіздева 015

N01G18G21G94G96;

N02M6T4;

N03M3S800;

N04G00X31.7Z305;

N05G00X12.5Z285;

N06G01X12.5Z198F0.4;

N07G00X19.38Z198;

N08G00X31.7Z305;

N09M5;

N10M6T5;

N11M3S800;

N12G00X31.7Z305;

N13G00X18.3Z206;

N14G01X11.5Z206F0.4;

N15G00X18.38Z206;

N16G00X31.7Z305;

N17M5;

N18M30;

%

						Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Операція 020 – Токарно-багаторіздева

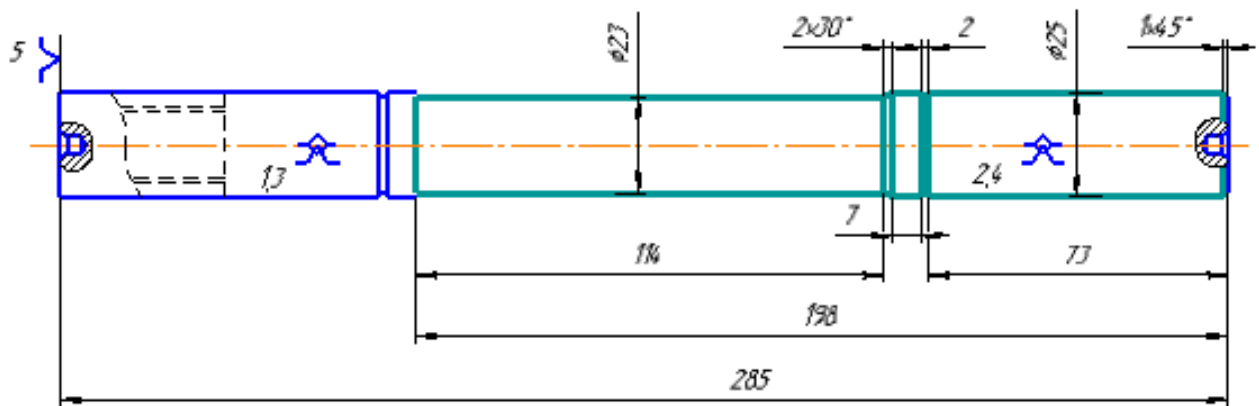


Рисунок 1.1.3.4. Обробка деталі при токарно-багаторіздевій операції.

%	N14G00X31.7Z305;
N00 Токарно-багаторіздева 020	N15G00X18.38Z211;
N01G18G21G94G96;	N16G01X11.5Z211F0.4;
N02M6T4;	N17G00X18.38Z211;
N03M3S800;	N18G00X31.7Z305;
N04G00X31.7Z305;	N19M5;
N05G00X12.5Z285;	N20M6T6;
N06G01X12.5Z203F0.4;	N21M3S800;
N07G01X11.5Z200.9F0.4;	N22G00X31.7Z305;
N08G01X11.5Z87F0.4;	N23G01X12Z284.4F0.4;
N09G00X16.2Z87;	N24G00X31.7Z305;
N10G00X31.7Z305;	N25M5;
N11M5;	N26M30;
N12M6T5;	%
N13M3S800;	

Операція 025 – Шпоночне фрезерування

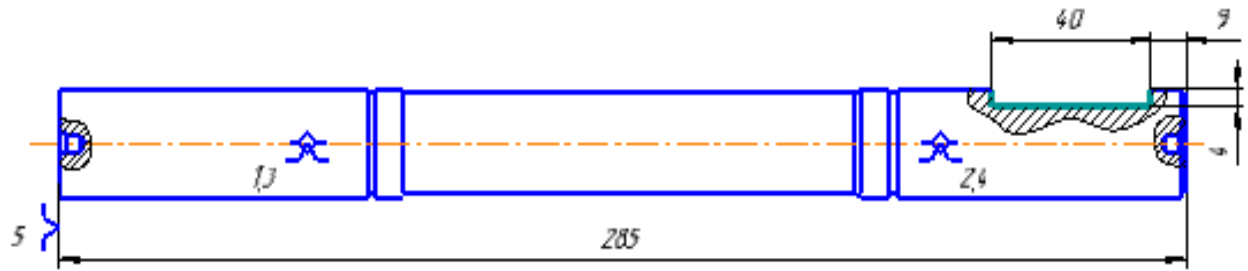


Рисунок 1.1.3.5. Обробка деталі при шпоночно-фрезерувальній операції.

%	N05G01X240Z21F0.02;
N00 Шпоночне фрезерув. 025	N06G01X272Z21F0.02;
N01G17G21G94;	N07G01X272Z28F0.02;
N02M6T7;	N08G00X240Z42,6;
N03M3S600;	N09M5;
N04G00X240Z42.6;	%

Операція 030 – Фрезерна

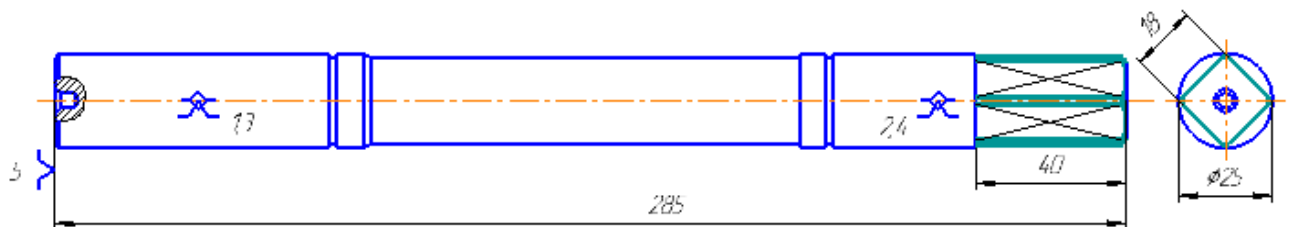


Рисунок 1.1.3.6. Обробка деталі при фрезерній операції.

%	N17M5;
N00 Фрезерна 030	N18M6T8;
N01G17G21G94;	N19M3S100;
N02M6T8;	N20G00X257.5Z42.7;
N03M3S100;	N21G01X257.5Z21.5F0.4;
N04G00X257.5Z42.7;	N22G01X290Z21.5F0.4;
N05G01X257.5Z21.5F0.4;	N23G00X290Z23,5;
N06G01X290Z21.5F0.4;	N24G00X257.5Z42.7;

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

N07G00X290Z23,5;
 N08G00X257.5Z42.7;
 N09M5;
 N10M6T8;
 N11M3S100;
 N12G00X257.5Z42.7;
 N13G01X257.5Z21.5F0.4;
 N14G01X290Z21.5F0.4;
 N15G00X290Z23,5;
 N16G00X257.5Z42.7;

N25M5;
 N26M6T8;
 N27M3S100;
 N28G00X257.5Z42.7;
 N29G01X257.5Z21.5F0.4;
 N30G01X290Z21.5F0.4;
 N31G00X290Z23,5;
 N32G00X257.5Z42.7;
 N33M5;
 %

Операція 035 – Круглошліфувальна

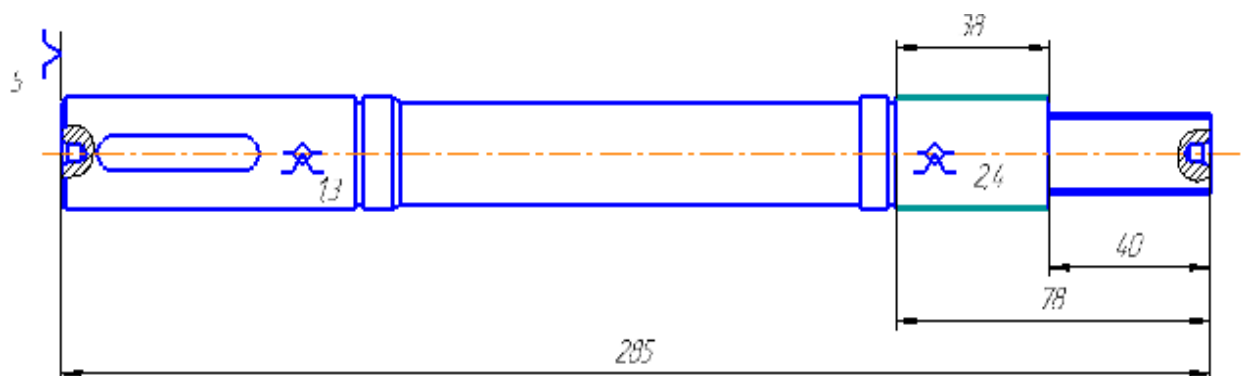


Рисунок 1.1.3.7. Обробка деталі при круглошліфувальній операції.

Операція 040 – Круглошліфувальна

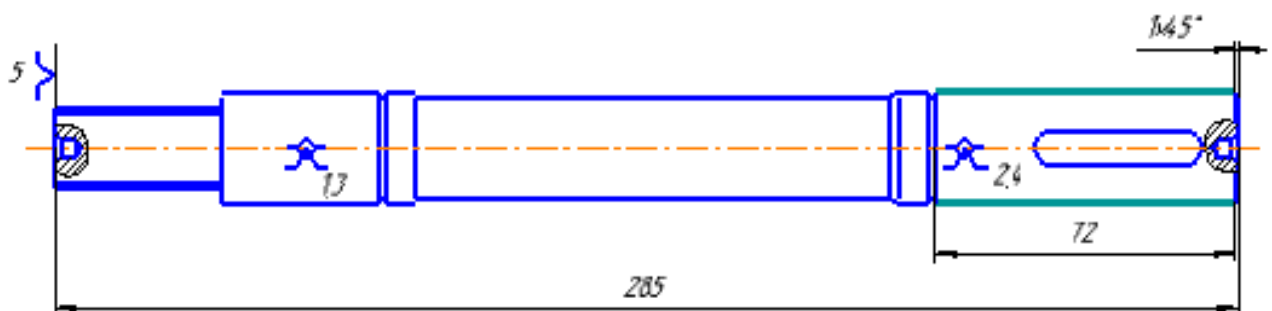


Рисунок 1.1.3.8. Обробка деталі при круглошліфувальній операції.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Операція 045 – Контрольна

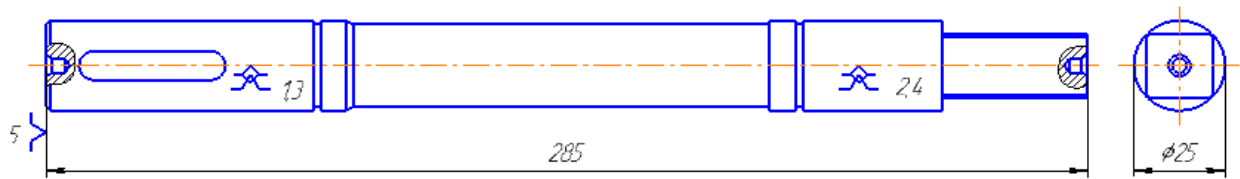


Рисунок 1.1.3.9. Обробка деталі при контрольній операції.

Після механічної обробки вал слід піддати відпалу II роду (операція 050, див. табл. 1.1.3.1) та локальній лазерній термообробці (операція 055).

Операція 055 – Фінішна (лазерна термообробка)

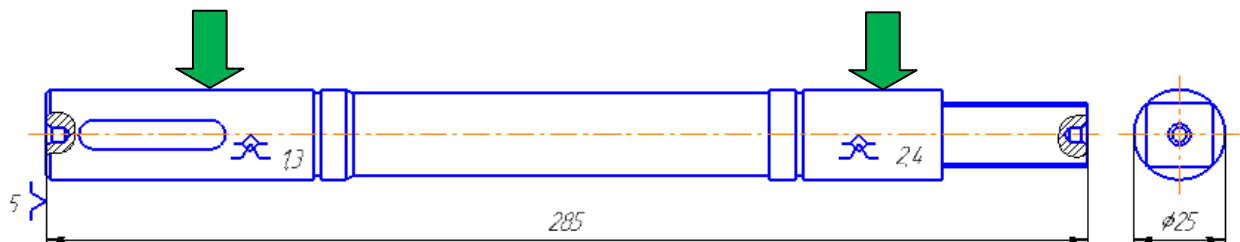


Рисунок 1.1.3.10. Обробка деталі лазерним променем.

Результатом проектування змісту технологічних операцій є встановлення найбільш раціональної послідовності оброблення усіх поверхонь деталі, а також визначення кількості та змісту переходів на кожній операції.

1.2. Розробка операційного технологічного процесу

1.2.1. Табличний метод визначення припусків на обробку

Різниця розмірів заготовки і остаточно обробленої деталі визначає величину припуску, тобто шару, який повинен бути знятий при механічній обробці. Припуски поділяють на загальні та міжопераційні. Під загальним розуміють припуск, що знімається протягом всього процесу обробки даної поверхні – від розміру заготовки до остаточного розміру готової деталі. Міжопераційний називають припуск, який видаляють при виконанні окремої операції.

						Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У виробничих умовах розміри припусків встановлюють на підставі досвіду, використовуючи дані за масою і габаритами деталі, а також залежно від необхідного квалітету точності і необхідної шорсткості поверхні [1].

Для токарної обробки припуск приймається в діапазоні 1,5–3 мм на сторону до кожної поверхні. Будемо вважати, що припуск становить 2,45 мм для точіння, а для шліфування 0,05 мм (див. табл. 1.2.1.1).

Таблиця 1.2.1.1. Визначення припусків табличним методом.

Номинальний діаметр, мм	Довжина, мм	Операції	Припуск, мм	Розмір заготовки, мм
Ø27	87	Чорнове точіння	1,5·2	Ø30
Ø25,5	87	Напівчист. точіння	0,75·2	Ø27
Ø25,1	87	Чистове точіння	0,2·2	Ø25,5
Ø25	87	Шліфування	0,05·2	Ø25,1
Ø27	198	Чорнове точіння	1,5·2	Ø30
Ø25,5	198	Напівчист. точіння	0,75·2	Ø27
Ø25,1	198	Чистове точіння	0,2·2	Ø25,5
Ø25	198	Шліфування	0,05·2	Ø25,1
Ø23	114	Напівчист. точіння	1·2	Ø25

Такий метод визначення припусків називають табличним на відміну від аналітичного, при якому загальна величина припуску визначається шляхом розрахунку його по складовим елементам з використанням різних коефіцієнтів.

1.2.2. Розрахунок режимів різання: аналітичний і табличний методи

При призначенні режимів різання необхідно враховувати характер обробки, тип і розмір інструменту, матеріал його ріжучої частини і стан заготовки. При чорновій обробці призначають по можливості максимальну глибину різання і максимально можливу подачу, виходячи з жорсткості системи ВПД, потужності верстата і інших обмежуючих факторів [6,7].

Аналітичний метод:

Операція: токарно-багаторіздева (чорнова та чистова).

Силовий розрахунок.

Визначити сили, що діють при поздовжньому точінні заготовки зі сталі 30ХГСА з межею міцності $\sigma_B = 980$ МПа, різцем із пластиною з твердого сплаву ВК6. Визначити потужність різання. Глибина різання $t = 3$ мм, подача $S = 0,5$ мм/об, швидкість різання $V = 60$ м/хв.

Геометричні параметри різця: форма передньої поверхні – радіусна з фаскою; $\varphi = 90^\circ$; $\varphi_1 = 30^\circ$; $\gamma = -5^\circ$; $\alpha = 12^\circ$; $\lambda = 0$; $r = 1$ мм.

Сили різання при точінні:

$$P_z = 10 \cdot C_{P_z} \cdot t^{X_P} \cdot S^{Y_P} \cdot v^n \cdot K_P.$$

Визначаємо значення постійної і показників степенів,

$$C_{P_z} = 300 \quad x = 1.0 \quad y = 0,75 \quad n = -0.15;$$

$$C_{P_x} = 339 \quad x = 1.0 \quad y = 0.5 \quad n = -0.4;$$

$$C_{P_y} = 243 \quad x = 0.9 \quad y = 0.6 \quad n = -0.3;$$

де: P_z – тангенціальна сила, Н; t – глибина різання, мм; C_P – коефіцієнт, що залежить від виду обробки; X_P ; Y_P – показники ступенів; K_P – поправочний коефіцієнт, що відображує вплив окремих факторів на силу різання.

Визначаємо значення поправочних коефіцієнтів:

$$K_P = K_{\mu P} K_{\varphi P} K_{\lambda P} K_{zP} K_{\gamma P}:$$

$$K_{\mu P_z} = \left(\frac{\sigma_B}{980} \right)^n; n = 0,75.$$

$$K_{\mu P_z} = \left(\frac{730}{980} \right)^{0.75} = 0,98.$$

$$K_{\mu P_x} = \left(\frac{\sigma_B}{980} \right)^n; n = 1.$$

$$K_{\mu P_x} = \left(\frac{700}{980} \right)^1 = 0,97.$$

$$K_{\mu P_y} = \left(\frac{\sigma_B}{980} \right)^n; n = 1,35.$$

						Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{\mu Py} = \left(\frac{700}{980}\right)^{1.35} = 0.96.$$

Поправочні коефіцієнти, що враховують геометрію різця:

$$K_{\phi Pz} = 0,89; \quad K_{\phi Px} = 1,17; \quad K_{\phi Py} = 0,5;$$

$$K_{\gamma Pz} = 1.25; \quad K_{\gamma Px} = 2; \quad K_{\gamma Py} = 2;$$

$$K_{\lambda Pz} = K_{\lambda Px} = K_{\lambda Py} = 1,$$

$K_{\mu Pz}$ – враховується тільки для різців зі швидкорізальної сталі.

$$P_z = 300 \cdot 10 \cdot 3^1 \cdot 0,5^{0,75} \cdot 60^{-0,15} \cdot 0,98 \cdot 0,89 \cdot 1,25 \cdot 1 = 1209 \text{ Н};$$

$$P_x = 339 \cdot 10 \cdot 3^1 \cdot 0,5^{0,5} \cdot 60^{-0,4} \cdot 0,97 \cdot 1,17 \cdot 2,0 \cdot 1 = 1231 \text{ Н};$$

$$P_y = 243 \cdot 10 \cdot 3^1 \cdot 0,5^{0,6} \cdot 60^{-0,3} \cdot 0,96 \cdot 0,5 \cdot 2,0 \cdot 1 = 802 \text{ Н}.$$

Потужність різання:

$$N = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{1231 \cdot 60}{1020 \cdot 60} = 1,49 \text{ кВт}.$$

Необхідна потужність головного руху, повністю забезпечується обраним верстатом:

$$N_B = 2,0 \text{ кВт} > N = 1,49 \text{ кВт}.$$

На токарному верстаті з ЧПК моделі ORAC MWP 84 проводиться чорнове, напівчистове та чистове обточування на прохід вала $D = 30$ мм до $d = 25$ мм.

Довжина оброблюваної поверхні $l = 87$ мм; довжина вала $L = 285$ мм.

Заготовка – пруток з прокату сталі 30ХГСА з межею міцності $\sigma_B = 980$ МПа.

Спосіб кріплення заготовки – патрон. Параметр шорсткості поверхні $Ra = 1,25$ мкм. Обробку проводимо різцем із пластиною з твердого сплаву ВК6. Геометричні параметри різця: форма передньої поверхні – радіусна з фаскою; $\phi = 90^\circ$; $\phi_1 = 30^\circ$; $\gamma = -5^\circ$; $\alpha = 12^\circ$; $\lambda = 0$; $r = 1$ мм.

Глибина різання – при чорновій обробці припуск знімаємо за один прохід, тоді:

$$t = \frac{D-d}{2} = \frac{30-25}{2} = 2,5 \text{ мм}.$$

						Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Однак ми розіб'ємо t на t_1, t_2, t_3 :

$$t_1 = 1,5 \text{ мм}; t_2 = 0,75 \text{ мм}; t_3 = 0,2 \text{ мм}$$

Призначаємо подачу – для чорнової обробки заготовки з конструкційної сталі діаметром від 40 до 60 мм різцем з перерізом державки 16×25 , або 25×25 глибиною різання до 1,5 мм:

$$S = 0,4 \dots 0,8 \text{ мм/об.}$$

У відповідності з паспортними даними верстата приймаємо $S_1 = 0,5 \text{ мм/об.}$

Для чистової при діаметрі від 20 до 40 мм з перерізом державки 16×25 , або 25×25 та заданими геометричними характеристиками різальної частини при заданій шорсткості $Ra 1,25$:

$$S = 0,4 \dots 0,8 \text{ мм/об.}$$

У відповідності з паспортними даними верстата приймаємо $S_2 = 0,8 \text{ мм/об.}$
Швидкість різання, що допускається матеріалом різця, м/хв,

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v,$$

де: $C_v = 340$; $x = 0,15$; $y = 0,45$; $m = 0,2$; $T = 60 \text{ хв.}$

Поправочний коефіцієнт для обробки різцем з твердосплавною пластиною K_v :

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{Hv} \cdot K_{\phi v}.$$

$$K_{mv} = K_{\Gamma} \cdot \left(\frac{980}{\sigma_B} \right)^{n_v},$$

де: $K_{\Gamma} = 1$ – коефіцієнт, який характеризує групу сталі по оброблюваності, $n_v = 1$ показник степеня.

Тоді

$$K_{mv} = 1 \cdot \left(\frac{980}{700} \right)^1 = 1,07;$$

$$K_{nv} = 0,8;$$

$$K_{Hv} = 0,65;$$

$$K_{\phi v} = 0,9.$$

						Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для чорнової обробки:

$$v_1 = \frac{340}{60^{0,2} \cdot 4^{0,15} \cdot 0,5^{0,45}} \cdot 1,07 \cdot 0,8 \cdot 0,65 \cdot 0,9 = 83 \text{ м/хв.}$$

Для чистової:

$$v_2 = \frac{340}{60^{0,2} \cdot 1,5^{0,15} \cdot 0,165^{0,45}} \cdot 1,07 \cdot 0,8 \cdot 0,65 \cdot 0,9 = 120 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання, що відповідає знайдений швидкості різання, об/хв.:

$$n_1 = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 83,3}{3,14 \cdot 43} = 600 \text{ м/хв;}$$

$$n_2 = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 160}{3,14 \cdot 35} = 1100 \text{ м/хв.}$$

Дійсна швидкість різання, м/хв:

$$v_{д1} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 43 \cdot 617}{1000} = 83;$$

$$v_{д2} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 35 \cdot 1450}{1000} = 120.$$

Значення з індексом «1» відносяться до чорнової обробки, а значення з індексом «2» відповідно до чистової.

Дані режими обробки дають змогу забезпечити необхідну точність та якість поверхні кінцевика вала та отримати задану шорсткість Ra 1.25.

Табличний метод:

Для інших операцій режими різання визначаємо по машинобудівним нормативам.

						Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2.2.1. Режими різання.

Номер операції зміст переходу	t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	N, кВт
<i>Операція 010 – Фрезерно-центрувальна</i>					
1. Підрізання торців Ø 30 на довжині 285 мм.	2,5	0,1	16	800	1,5
2. Свердління 2 центрувальних отворів Ø 4 на довжині 7 мм.	7	0,2	78,5	300	1,5
3. Зенкування 2 внутрішніх фасок 2x45° мм.	2	0,15	22	600	1,5
<i>Операція 015 – Токарно-багаторізева</i>					
1. Підрізання поверхні Ø 27 мм на довжині 87 мм.	1,5	0,5	83	600	1,5
2. Підрізання поверхні Ø 25,5 мм на довжині 87 мм.	0,75	0,5	120	1100	1,5
3. Підрізання поверхні Ø 25.1 мм на довжині 87 мм.	0,2	0,8	82	800	1,5
4. Нарізання канавки Ø 23 на довжині 2 мм.	1	0,4	50	500	1,5
<i>Операція 020 – Токарно-багаторізева</i>					
1. Підрізання поверхні Ø 27 мм на довжині 198 мм.	1,5	0,5	83	600	1,5
2. Підрізання поверхні Ø 25,5 мм на довжині 198 мм.	0,75	0,5	120	1100	1,5
3. Підрізання поверхні Ø 25,1 мм на довжині 198 мм.	2,5	0,8	82	800	1,5
4. Підрізання поверхні Ø 23мм на довжині 114 мм.	1	0.5	83	600	1,5
5. Нарізання фаски 2x30° мм.	1	0,2	78,5	400	1,5
6. Нарізання канавки Ø 23 на довжині 2 мм.	1	0,4	50	500	1,5
7. Нарізання фаски 1x45° мм.	1	0,4	55	500	1,5

						Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

<i>Операція 025 – Шпоночне фрезерування</i>					
1. Фрезерування шпоночного паза Ø 8 на довжині 40 мм.	4	0,024	25	60	2
<i>Операція 030 - Фрезерна</i>					
1. Фрезерування 4 лисок Ø 18 на довжині 40 мм.	3,5	0,4	18	100	2
2. Нарізання 4 фасок 1x45° мм.	1	0,5	22	100	2
<i>Операція 035 – Круглошліфувальна</i>					
1. Шліфування поверхні Ø 25k6 на довжині 38 мм.	0,05	0,2	45	600	1,5
<i>Операція 040 – Круглошліфувальна</i>					
1. Шліфування поверхні Ø 25k6 на довжині 72 мм;	0,05	0,2	45	600	1,5

2. ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА РОЗРОБКА СПЕЦПРИСТРОЇВ

2.1. Верстати

Для середньосерійного виробництва підбираємо високопродуктивне універсальне і спеціалізоване, орієнтуючись на відповідність основних розмірів робочих органів верстата габаритним розмірам оброблюваної заготовки і досягнення необхідної точності, а також на застосування мінімальної кількості різних моделей верстатів. Для досягнення високої якості та продуктивності при виготовленні досліджуваного валу у всіх операціях для середньосерійного виробництва застосовуємо спеціальні пристосування з швидкодіючим затиском заготовок.

Обробку виконуємо стандартним інструментом. Матеріал ріжучої частини торцевих фрез, свердел, зенківоч – Р6М5, різців різного призначення – ВК6.

Призначаємо наступні операції:

005 – заготівельна;

015 – токарно-багаторізева;

020 – токарно-багаторізева.

Устаткування: Токарний верстат ORAC MWP84 (рис. 2.1.1), який має такі технічні характеристики:

1. Інтерполяція – кругова.
2. Найбільші переміщення столу, мм:
 - повздовжнє 200;
 - поперечне 150.
2. Відстань між центрами – 400 мм.
3. Швидкість обертання шпинделя – 2000 об/хв.
4. Діаметр отвору шпинделя – 20 мм.
5. Конус отвору шпинделя – 20 мм.
6. Радіуси від 2 до 3000 мм.
7. Програмована швидкість подачі – 0...1200 мм/хв.
8. Гвинт різання з 0,35-3,5 з кроком 8-70.

						Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Програмовані затримки – 0-99 сек.
10. Кроковий двигун – 200 кроків/об.
11. Габаритні розміри – 920 х 600 х 540 мм.
12. Вага – 140кг.

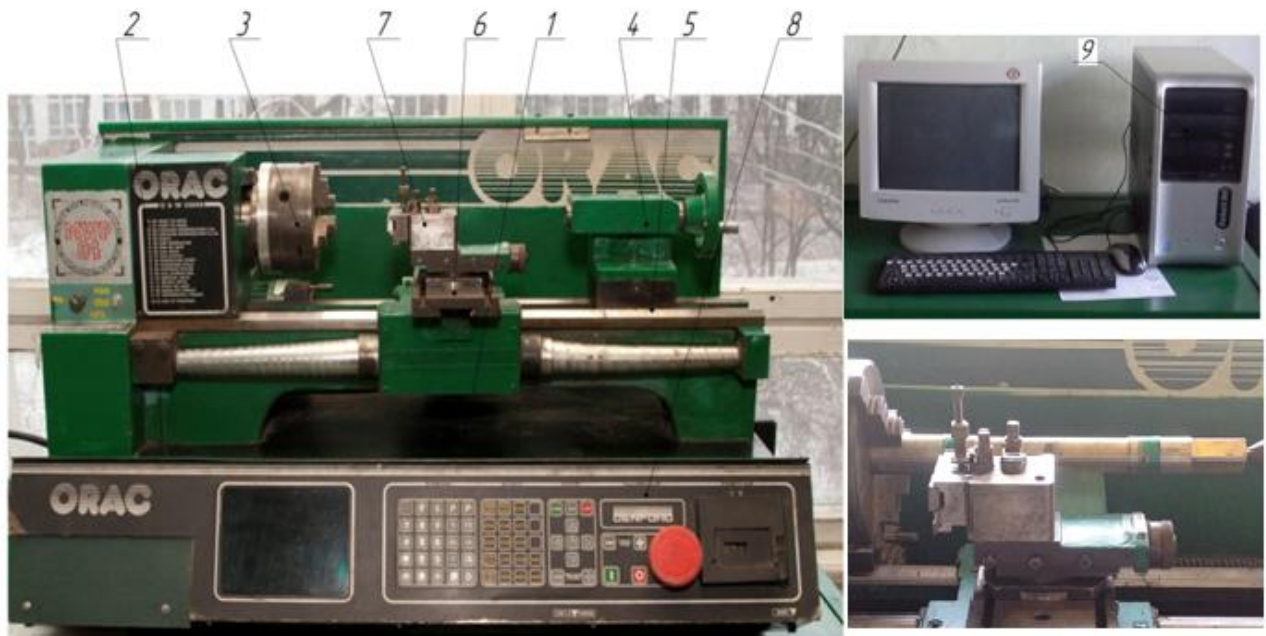


Рисунок 2.1.1. Основні вузли токарного верстата ORAC MWP84
(1 – станина; 2 – передня бабка; 3 – трьохкулачковий патрон;
4 – задня бабка; 5 – полозки повздовжні; 6 – полозки поперечні;
7 – різцеутримувач; 8 – панель керування; 9 – ЕОМ).

Операції:

025 – фрезерно-шпоночна;

030 – фрезерна.

Устаткування: Фрезерний верстат Dyna Myte 2800 (рис. 2.1.2), який має такі технічні характеристики:

1. ЧПУ – модель PC-2 (приймає G/M та Dyna коди)
2. Вісь – 3-осьовий верстат з ЧПУ з виходом 4-ої осі.
3. Потужність двигуна – 2 кВт.
4. Частота обертання шпинделя – 8000 об/хв.
5. Оснащення – BT-30 (включає в себе 2 тримачі цанги і 3 інструменти).

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

6. Рухи: $x = 6,200$ "; $y = 5,000$ "; $z = 4,000$ ".
7. Діаметр свердління:
 - м'яка сталь: $0,2$ " (5 мм);
 - алюміній: $0,37$ " (10 мм).
8. Максимальна відстань від шпинделя до таблиці – 9 " (232 мм).
9. Хід шпинделя – $1,5$ " (38 мм).
10. Х-переміщення по осі (поздовжній) – $6,2$ " (157 мм).
11. Y-ось хід (поперечний) – 5 " (126 мм).



Рисунок 2.1.2. Фрезерний верстат Dynamyte 2800 з ЧПК для «фрезерної операції (030) (1 – стіл; 2 – станина; 3 – робочий стіл; 4,5,6 – крокові електродвигуни; 7,8,9 – полозки для повздовжнього, поперечного і вертикального переміщення; 10 – лещата; 11 – спеціальний пристрій; 12 – пульт керування; 13 – ЕОМ).

12. Z-осі руху (по вертикалі) – 13" x 6" (105 мм).

13. Швидкість траверси – 800 мм/хв для всіх осей.

14. Точність положення – 0,03 мм.

15. Розміри:

- ширина: 23,7" (602 мм);
- глибина: 21,5" (546 мм);
- висота: 21,5" (546 мм).

16. Маса – 130 кг.

Операції:

010 – фрезерно-центрувальна;

045 – контрольна.

Устаткування: Багатоопераційний верстат IP320ПМФ (рис. 2.1.3) з горизонтальною віссю, який має такі технічні характеристики:

1. Розмір робочої поверхні столу – 320x320 мм.

2. Найбільша маса оброблюваної заготовки – 150 кг.

3. Найбільші переміщення столу, мм:

- повздовжнє 500;
- поперечне 400.

4. Положення шпиндельної головки (бабки) – вертикальне, 360 мм.

5. Відстань від торця шпинделя до центру столу – 0...400 мм.

6. Конус отвору шпинделя (по ГОСТ 15945-82) – 40 мм.

7. Місткість інструментального магазину – 40 шт.

8. Найбільший діаметр інструменту, що вставляється магазин:

- без пропуску гнізд – 125 мм;
- з пропуском гнізд – 200 мм.

9. Обертання шпинделя – безступінчасте.

10. Частота обертання шпинделя – 135000 об/хв.

11. Робоча подача – 3200 мм/хв.

12. Найбільша сила подачі столу – 4 МН.

						Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Швидкість швидкого переміщення – 10000 мм/хв.
14. Потужність електродвигуна приводу головного руху – 5,5 кВт.
15. Габаритні розміри – 3999 х 2300 х 2507 мм.
16. Маса – 8000 кг.



Рисунок 2.1.3. Багатоопераційний верстат IP320ПМФ з горизонтальною віссю обертання.

Операції:

035 – круглошліфувальна;

040 – круглошліфувальна.

Устаткування: Круглошліфувальний верстат 3В130Ф4 (рис. 2.1.4) має наступні технічні характеристики:

1. Розміри заготовки, що встановлюється, тах, мм:

- у центрах: діаметр / довжина – 300/1000;

- у патроні: діаметр / довжина – 200.

2. Макс. розміри шліфування, мм:

- у центрах: діаметр / довжина – 250/1000;

- у патроні: діаметр / довжина – 200.

						Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Мін. діаметр зажимної заготовки в патроні – 5 мм.
4. Макс. маса заготовки, що встановлюється, кг:
 - в центрах: 75;
 - в патроні: 20.
6. Обертова швидкість шліфувального круга – 50 м/с.
7. Точність циліндричних поверхонь:
 - круглість при обробці в центрах або в патроні – 1,6 мкм.
 - постійність діаметру в поздовжньому перерізі/ при обробці в центрах/ – 8 мкм.
8. Площина торцевої поверхні/ випуклість недопускається/ – 6 мкм.
9. Шорсткість оброблених поверхонь, Ra:
 - циліндричної зовнішньої: 0,16;
 - плоскої торцевої: 0,63.
10. Система ЧПУ – Sinumerik-840D.
11. Кількість керованих осей координат системи ЧПУ (бабка – вісь X, стіл – вісь Z, люнет – вісь Y, обертання бабки – вісь A) – 4.
12. Кількість інтерпольованих координат (вісь X, Y та Z) – 3.
14. Кількість встановлених електродвигунів – 5 шт.
15. Сумарна потужність електродвигунів – 10 кВт.
16. Габарити верстату (довжина, ширина, висота) – 4000, 3200, 1900 мм.
17. Маса верстату – 5270 кг.

						Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.1.4. Круглошліфувальний верстат 3В130Ф4.

Операції:

050 – термообробка (нормалізаційний відпал / відпал II роду);

Устаткування: вакуумна піч SCHMETZ типу Е (рис. 2.1.5), що має наступні основні технічні характеристики:

1. Максимальний середній вакуум – 10^{-2} мбар.
2. Максимальна температура – 1250 °С.
3. Тип навантаження – горизонтальний.
4. Габарити – 1200 х 2000 х 1200 мм.
5. Маса обробки – 50 кг...3 т.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38



Рисунок 2.1.5. Вакуумна піч SCHMETZ типу E.

Операції:

055 – лазерна термообробка;

Устаткування: дисковий лазер TruDisk 8002 типу TRUMPF (рис. 2.1.6), що має наступні основні технічні характеристики:

1. Потужність лазер – 8000 Вт.
2. Якість лазерного променя (BPP) – 8 мм/мрад.
3. Діаметр оптоволокна – 200 мкм.
4. Габарити – 2800 x 1600 x 1400 мм.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39



Рисунок 2.1.6. Дісковий лазер TruDisk 8002.

2.2. Розроблення спецпристроїв

2.2.1. Самоцентрувальні машинні лещата

Для встановлення та закріплення виробів при фрезерних операціях, запропоновано використати самоцентрувальні машинні лещата з гвинтовим механізмом (рис 2.2.1.1).

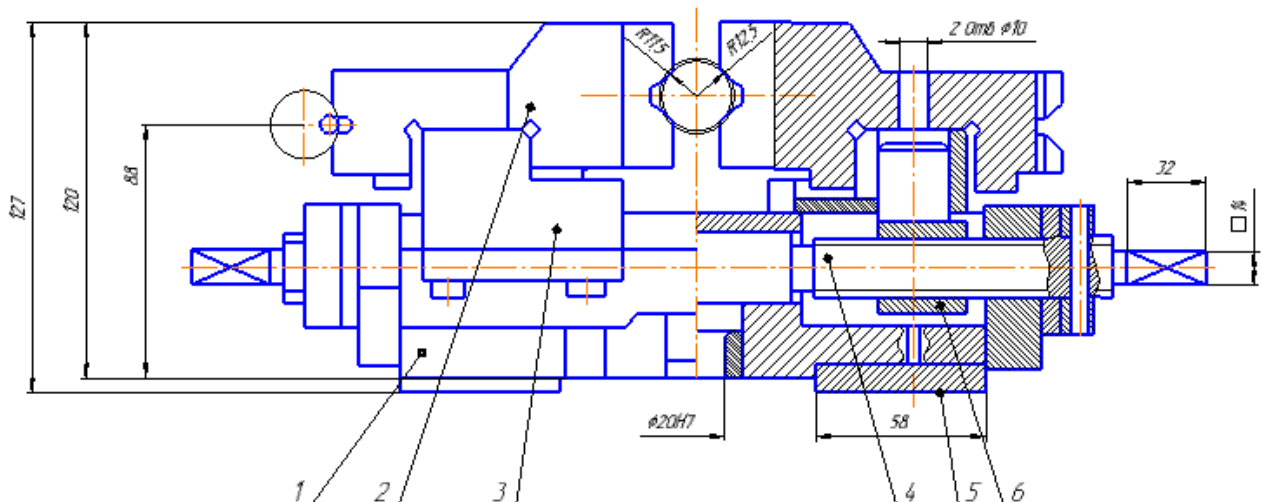


Рисунок 2.2.1.1. Самоцентрувальні машинні лещата.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	40

Самоцентрувальні машинні лещата складаються з корпусу і двох лещатових губ, що закріплюється за допомогою гвинтового механізму.

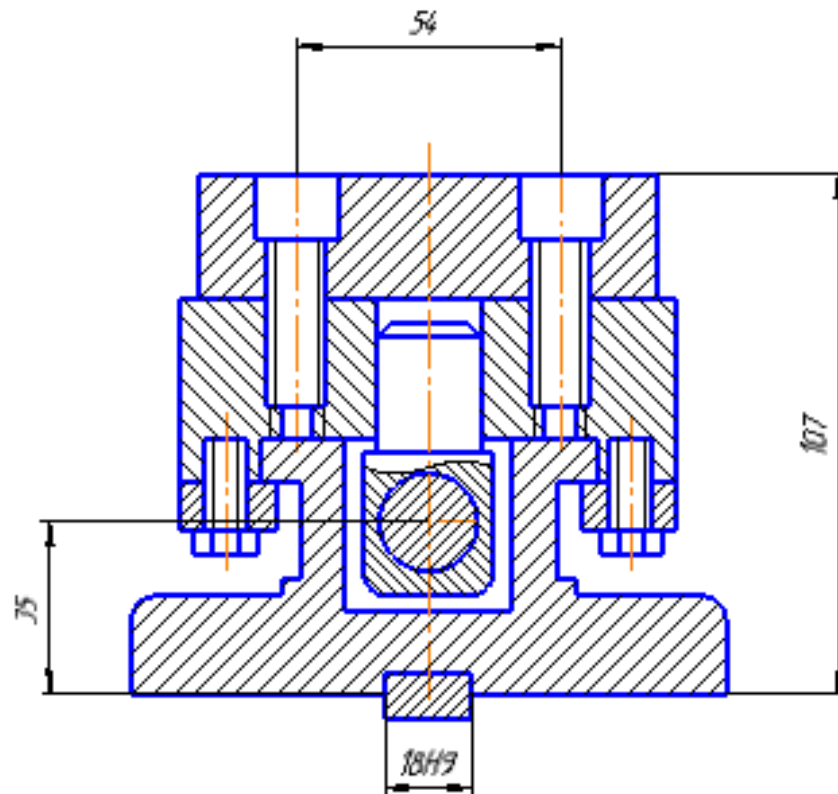


Рисунок 2.2.1.2. Лещатова губа у перерізі.

2.2.2. Самоцентрувальний важільно-клиновий патрон з пневмоприводом

Для базування і закріплення деталі на токарних операціях запропоновано використати трьохкулачковий самоцентрувальний важільно-клиновий патрон з пневмоприводом (рис 2.2.2.1).

Деталь базується і закріплюється кулачками. При осьовому переміщенні клина вліво, він повертає важелі, які приводять в рух кулачки по направляючих корпуса в радіальному напрямленні до центру, закріплюючи заготовку.

При русі клина вправо його конічна частина розжимає кулачки. Осьове переміщення клина забезпечується пневмоциліндром, який кріпиться до задньої частини шпинделя через фланець і обертається разом з ним.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	41

Подача стисненого повітря подається через спеціальну муфту, яка обертається.

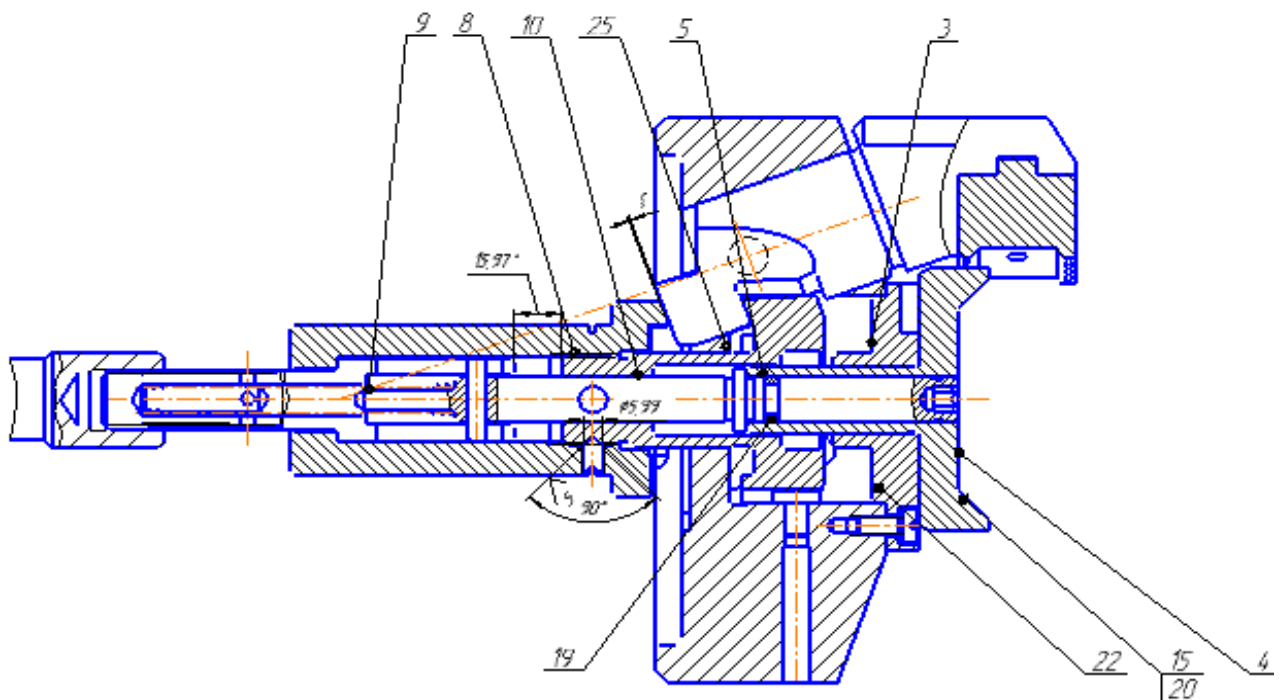


Рисунок 2.2.2.1. Трьохкулачковий самоцентрувальний важільно-клиновий патрон з пневмоприводом.

Корпус повітря підводної муфти прикріплений до кришки і встановлений на кульковому підшипникові. В різьбові отвори К 1/4ⁿ загвинчуються штуцера для приєднання шлангів стиснутого повітря. Стиснуте повітря, що підводиться до лівого отвору муфти, проходить по канавках поступає в праву порожнину пневмокамери і натискаючи на поршень, переміщує його зі штоком вліво.

Стиснене повітря, що підводиться до правого отвору муфти, проходить по канавках, поступає в нову порожнину пневмокамери циліндра і переміщає поршень зі штоком вправо. Щоб не було просочування стиснутого повітря з однієї порожнини в іншу, на поршні встановлені спеціальні ущільнення з масло стійкої гуми. Просочування стиснутого повітря з пневмоциліндра в атмосферу перешкоджають встановлені в корпусі і кришці гумові ущільнення і прокладки

					Арк.
					42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

між корпусом і кришкою, а просочування повітря з повітряної муфти – ущільнюючі манжети.[6-8]

При русі поршня зі штоком вліво шток через тягу і проміжні ланки патрона переміщується кулачками до центру і деталь затискається.

Під час руху поршня зі штоком вправо шток через тягу і проміжні ланки патрона розводить кулачки і деталь звільнюється.

Зусилля на кулачку розраховувалося за формулою із урахуванням сили тертя на кулачки $F_{\text{тер.}} = f \cdot Q$:

$$Q = k \cdot \frac{P_z \cdot d}{3 \cdot D \cdot f} = 2,5 \cdot \frac{45 \cdot 25}{3 \cdot 30 \cdot 0,4} = 2,5 \cdot \frac{1125}{36} = 78,13 \text{ Н.}$$

де: $f = 0,4$ – коефіцієнт тертя між кулачком та заготовкою;

$k = 2,5$ – коефіцієнт запасу міцності;

$D = 30$ мм – діаметр поверхні, що зажимається;

$d = 25$ мм – діаметр обробки;

$P_z = 45$ Н – тангенціальна складова сили різання одним різцем.

Необхідне зусилля на штоці складає (рис. 2.2.2.2):

$$W = 3 \cdot Q \cdot \frac{62}{15} \cdot \eta = 3 \cdot 78,13 \cdot \frac{62}{15} \cdot 0,9 = 914,12 \text{ Н.}$$

Зусилля, яке розвиває пневмоциліндр при подачі стиснутого повітря в штокову порожнину:

$$W_{\text{ц}} = P \cdot \frac{D^2 - d^2}{4} \cdot \eta_{\text{ц}} = 0,4 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,30^2 - 0,25^2}{4} \cdot 0,9 =$$
$$= 0,4 \cdot 10^6 \cdot 0,6875 \cdot 0,9 = 2475 \text{ Н,}$$

$$2475 \text{ Н} > 914,12 \text{ Н.}$$

						Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

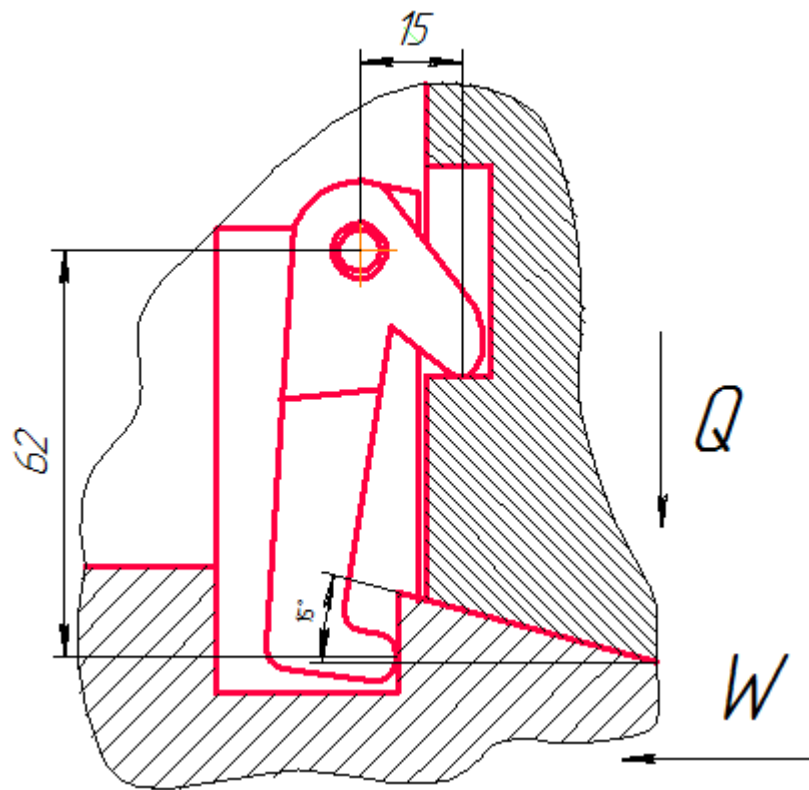


Рисунок 2.2.2.2. Схема роботи важеля.

Отже, механізм забезпечує необхідне силу зажиму.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

3. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

3.1. Дослідження напруженого стану валу в умовах експлуатації

Напружений стан поверхонь (ділянок) досліджуваного валу проведено з використанням пакету програмного забезпечення «SolidWorks 2014». Попередньо розроблену трьохвимірну модель (рис. 1.1.2.1) в середовищі «SolidWorks 2014» було піддано дослідженню з використанням модулю «SolidWorks Simulation Express 2014».

На першому етапі проектування, було здійснено фіксацію валу в двох опорних точках (рис. 3.1.1) згідно умов його роботи у вузлі механізму передач, а також прикладання статичних/обертових навантажень (рис. 3.1.2) в місцях закріплення зірочки/шестерні за допомогою сучасних модулів. Відомо, що для аналізу напруженого стану, повинні бути присутні достатні фіксувальні обмеження для стабілізації деталі «вал механізму передач». Відомо, що за допустиму приймають таке консольне навантаження, яке в поєднанні з заданим крутним моментом на валу і зусиллями в зачепленні забезпечує нормативний коефіцієнт запасу міцності у всіх небезпечних перетинах.

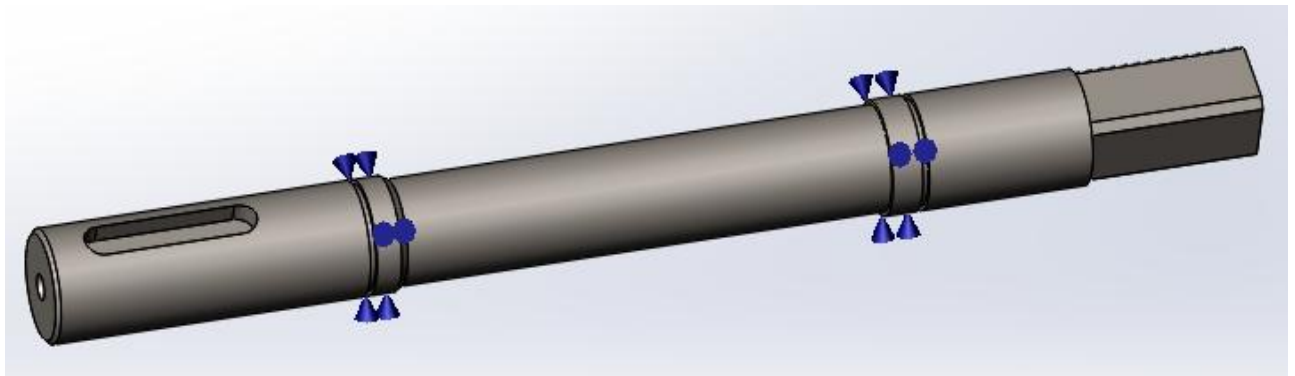


Рисунок 3.1.1. Схема фіксування валу в опорних точках.

На рис. 3.1.2 показано схему навантаження досліджуваного валу.

						Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

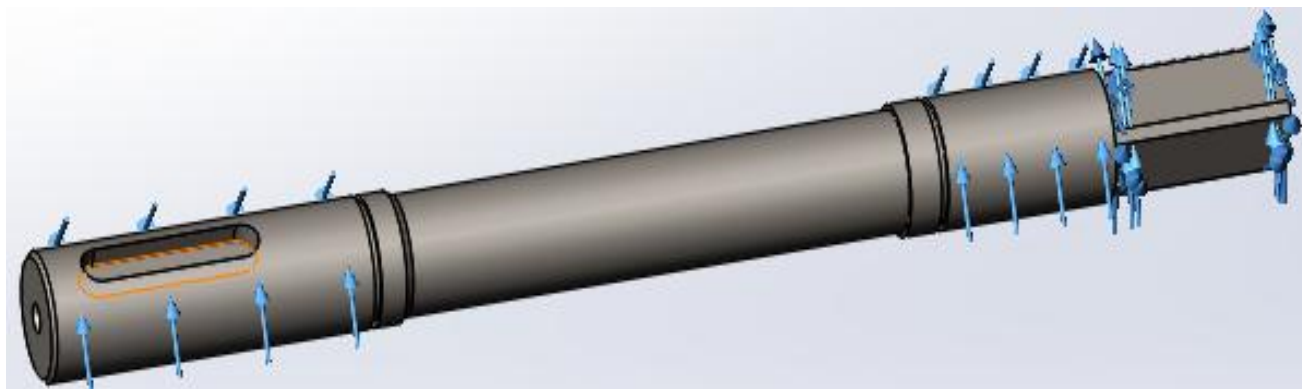


Рисунок 3.1.2. Схема навантаження валу.

До трьох вище вказаних ділянок було прикладено статичне/обертове навантаження величиною 1000 Н.

Для дослідження напруженого стану в модулі «*SolidWorks Simulation Express 2014*» стінки деталі взято в так звану «сітку» (рис. 3.1.3).

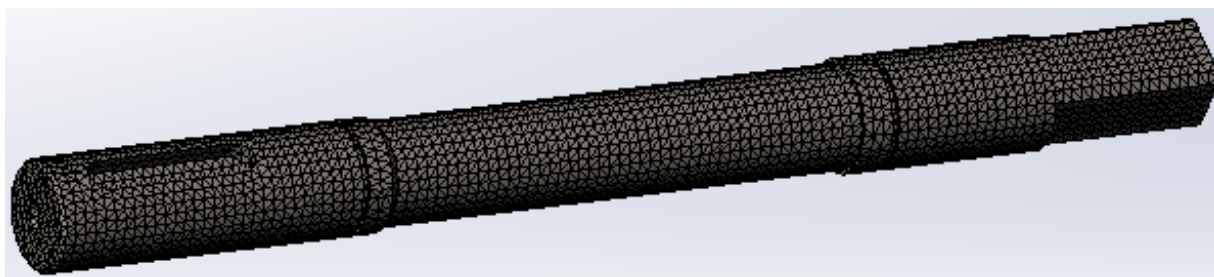


Рисунок 3.1.3. Схема розбивання валу на елементи.

Результати показали, що величина границі плинності (текучості) досліджуваного валу перевищена допустиму величину в декілька разів (рис. 3.1.4). Для більшої наочності результатів дослідження (границю міцності, переміщення та деформацію), модулями програмного забезпечення було створено модель з можливими деформаціями досліджуваного валу.

						Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

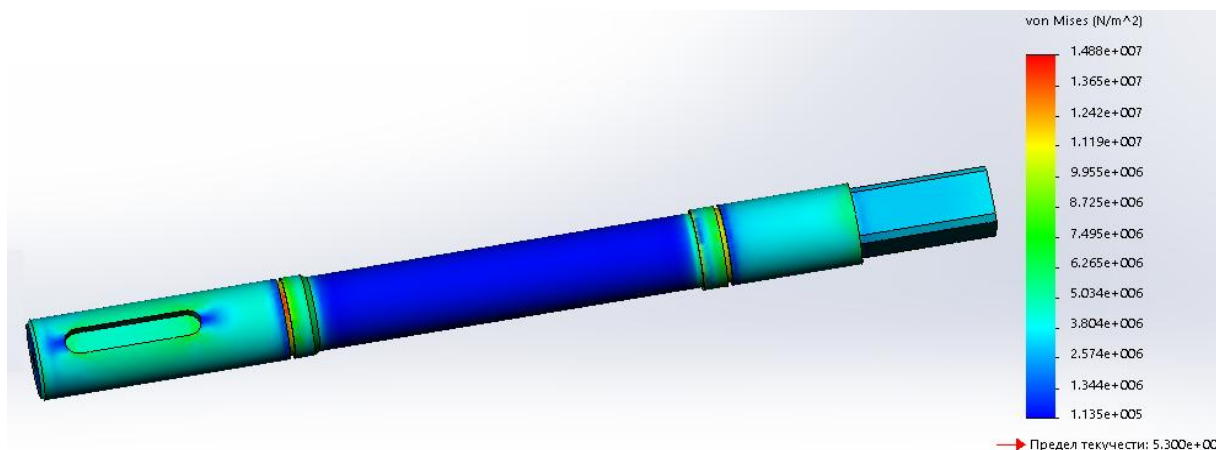


Рисунок 3.1.4. Найбільш навантажені ділянки валу.

Таким чином, рисунок 3.1.4 дає змогу оцінити розподіл навантаження на досліджуваному валу, визначивши найбільш навантажені ділянки в умовах експлуатації. В результаті, для характеристик підвищення запасу міцності в небезпечних перетинах валу, було прийнято рішення піддати їх фінішній термічній поверхневій обробці (операція 055, див. вище).

3.2. Шляхи підвищення зносостійкості та корозійної стійкості конструкційних сталей

3.2.1. Конструкційні матеріали

Конструкційна сталь – це тип металевого матеріалу, який широко використовується в машинобудуванні для створення міцних та надійних конструкцій [12]. Вона виготовляється шляхом сплавлення заліза з додаванням різних легуючих елементів, таких як вуглець, марганець, нікель, хром, молібден і інші, для поліпшення її механічних властивостей.

Основні характеристики конструкційної сталі [11-13]:

1. Міцність: Конструкційна сталь має високу міцність, що дозволяє їй витримувати великі навантаження без пошкоджень чи деформацій. Це робить її ідеальним матеріалом для створення металевих конструкцій.
2. Гнучкість: Конструкційна сталь може бути легко формована та оброблена, дозволяючи створювати різноманітні форми та розміри

						Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конструкцій. Це дозволяє архітекторам та інженерам реалізовувати свої творчі задуми та проектувати складні конструкції.

3. Довговічність: Конструкційна сталь має високу стійкість до корозії, що дозволяє їй зберігати свої механічні властивості протягом тривалого часу. Це особливо важливо для металевих конструкцій, які піддаються впливу навколишнього середовища.
4. Вага: Конструкційна сталь має високу міцність при відносно невеликій вазі, що робить її ефективним матеріалом на сьогодні.
5. У залежності від конкретного застосування, конструкційна сталь може мати різні класифікації та специфікації. Наприклад, сталі можуть бути позначені за ASTM (Американська асоціація з тестування та матеріалів), EN (Європейський стандарт) або іншими нормативними організаціями. Класифікації визначаються залежно від механічних властивостей, хімічного складу та інших факторів.
6. Враховуючи широкий спектр властивостей та можливостей конструкційної сталі, вона є одним з найпопулярніших матеріалів для машинобудівних проектів у всьому світі.

Вуглецеві та леговані сталі є двома основними типами сталі, які використовуються у різних галузях промисловості [16]. Обидва типи сталі включають в себе вуглець, але леговані сталі також містять додаткові легуючі елементи, які надають їм певні покращені властивості [14-15].

1. Вуглецеві сталі: Вуглецеві сталі містять вуглець як основний легуючий елемент, і вміст вуглецю зазвичай перевищує 0,25%. Ці сталі можуть мати різний вміст вуглецю, який впливає на їх механічні властивості. Вуглецеві сталі використовуються в широкому спектрі застосувань, таких як виготовлення конструкційних елементів, автомобільних деталей, інструментів та багатьох інших виробів.
2. Леговані сталі: Леговані сталі містять не тільки вуглець, але й додаткові легуючі елементи, такі як марганець, хром, нікель, молібден, ванадій та інші. Ці елементи додаються до сталі з метою поліпшення її

						Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

механічних властивостей, таких як міцність, твердість, стійкість до корозії, стійкість до високих температур і зносостійкість. Леговані сталі застосовуються у важких умовах експлуатації, наприклад, у виробництві авіаційних компонентів, нафтогазової промисловості, виробництві знарядь, шпилів та інших промислових деталей.

Важливо відзначити, що легування сталі дозволяє контролювати її властивості та адаптувати їх до конкретних потреб застосування. Комбінація різних легуючих елементів [17] дозволяє отримати сталі з різними характеристиками, що дозволяє виробникам вибирати оптимальний склад сталі для конкретного застосування.

Враховуючи механічні властивості та відмінності у складі, вуглецеві та леговані сталі використовуються у різних сферах індустрії для виробництва різноманітних продуктів залежно від їх вимог до міцності, стійкості і функціональності.

3.2.2. Обґрунтування вибору методу поверхневого зміцнення конструкційних сталей

Лазерна обробка є одним з передових і ефективних методів поверхневого зміцнення металевих виробів. Ось деякі причини, чому лазерна обробка може вважатися найкращим методом [24]:

1. Висока точність і контроль лазерного термозміцнення: Лазери дозволяють здійснювати дуже точну і керовану лазерну обробку поверхні металу. Завдяки цьому можна досягти високої якості обробки без спотворення оброблюваного виробу.
2. Швидкість і ефективність: Лазерна обробка відбувається швидко і ефективно за рахунок використання сучасних лазерних систем та сканувальної оптики. Лазерні промені можуть бути ціленаправлено сфокусовані на потрібні ділянки металевої поверхні, що дозволяє виконувати обробку з високою швидкістю.

						Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Гнучкість і адаптивність: Лазерну обробку можна легко налаштувати для вирішення різних завдань зміцнення поверхні. В залежності від вимог і матеріалу виробу, можна змінювати потужність, частоту, форму променя та інші параметри лазера.
4. Різноманітність застосувань: Лазерна обробка може бути застосована до широкого спектру металевих матеріалів і виробів. Вона використовується у виробництві автомобілів, літаків, машин, інструментів, медичного обладнання та багатьох інших галузях промисловості.
5. Відсутність контакту: Лазерна обробка відбувається без прямого контакту з металом, що дозволяє уникнути зношування інструментів і мінімізувати ризик пошкодження виробу.

Загалом, лазерна обробка є потужним і універсальним методом поверхневого зміцнення металевих виробів, який поєднує точність, швидкість, ефективність і гнучкість. Вона дозволяє досягати високих показників якості та покращувати механічні властивості поверхні металу без зміни геометрії поверхні та збереження в'язкості серцевини структури [18].

3.3. Лазерне поверхневе зміцнення сталевих виробів високопотужними лазерами

3.3.1 Лазерне зміцнення середньовуглецевих сталей

Лазерне зміцнення є ефективним методом для покращення властивостей середньовуглецевих сталей. Середньовуглецеві сталі мають вміст вуглецю у діапазоні 0,25% - 0,60%, що робить їх більш міцними, ніж низьковуглецеві сталі, але менш міцними, ніж високовуглецеві сталі. Лазерне зміцнення може бути використане для підвищення міцності та зносостійкості [18-20] поверхні середньовуглецевих сталей.

						Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відрізняються переваги лазерного зміцнення середньовуглецевих сталей від низьковуглецевих – контрольованою глибиною зміцнення: За допомогою лазерного зміцнення можна контролювати глибину проникнення твердого шару в матеріал. Це дозволяє налаштувати зміцнення відповідно до конкретних вимог і додаткової обробки. Решта переваг залишається такою ж.

Загалом, лазерне зміцнення є ефективним методом для підвищення міцності, твердості та зносостійкості середньовуглецевих сталей, що дозволяє розширити їх можливості застосування в різних промислових галузях

3.3.2. Умови та рішення для підвищення якості поверхневого шару

Підвищення корозійної стійкості металевих виробів вимагає виконання певних умов і прийняття відповідних рішень. Ось кілька умов і рішень, які можуть сприяти підвищенню корозійної стійкості:

1. Вибір відповідного матеріалу: Вибір правильного матеріалу з високою корозійною стійкістю є ключовим кроком. Деякі метали, такі як нержавіюча сталь або алюміній, мають природну стійкість до корозії і можуть бути використані в умовах, де виникає високий ризик корозії.
2. Покриття та захисні плівки: Застосування захисних покриттів, таких як фарбування, гальванічне покриття або хімічне осадження, може створити бар'єр між металевою поверхнею та середовищем, що зменшить взаємодію з корозійними агентами.
3. Контроль середовища: Корозійні процеси часто залежать від хімічного складу та властивостей оточуючого середовища. Контроль рівня вологості, рН, наявності агресивних хімічних речовин і температури може допомогти уникнути або знизити ризик корозії.
4. Регулярне обслуговування та очищення: Регулярне обслуговування та очищення металевих виробів можуть виявити та виправити початкові ознаки корозії, а також забезпечити збереження захисних покриттів.

						Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Використання ізоляційних матеріалів: Використання ізоляційних матеріалів, таких як пластикові покриття або резинові прокладки, може запобігти контакту металу з корозійно активними середовищами.
6. Катодний захист: Катодний захист є електрохімічним методом, за допомогою якого наводять електричний струм на металеву поверхню, щоб уникнути корозії. Цей метод використовує аноди, які приваблюють корозійні електрони і зберігають їх, запобігаючи їх руйнівному впливу на метал.

Ці рішення і умови можуть бути використані окремо або в комбінації, залежно від конкретних вимог та умов експлуатації металевих виробів.

Важливо враховувати специфічні потреби і характеристики кожної ситуації, а також консультуватися з фахівцями з області корозії для розробки найбільш ефективних стратегій захисту від корозії.

3.4. Особливості методу лазерного поверхневого термозміцнення для підвищення експлуатаційних властивостей конструкційних сталей

Метод лазерного поверхневого термозміцнення (Laser Surface Hardening / Laser Phase Transformation Hardening) є одним із методів поверхневого зміцнення матеріалів, який використовує лазерний промінь для підвищення міцності та твердості поверхневого шару матеріалу.

Основна ідея лазерного гартування полягає в локальному швидкому нагріванні оброблюваної поверхні лазерним променем з подальшим швидким охолодженням [11,12,13].

Процес лазерного термозміцнення включає наступні кроки:

1. Обробка поверхні: Перед початком термозміцнення поверхня часто матеріалу піддається попередній обробці, такі як шліфування або полірування, для видалення дефектів та забруднень.
2. Налаштування параметрів: Визначаються оптимальні параметри процесу, такі як потужність лазера (температура нагрівання), швидкість

						Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та рух променя, що забезпечують необхідну глибину проникнення тепла.

3. Обробка лазером: Лазерний промінь точково або лінійно сканується по поверхні матеріалу, надаючи енергію, яка розплавлює верхній шар матеріалу.
4. Швидке охолодження: Після розплавлення поверхні, енергія швидко розсіюється в глибину матеріалу, а потім швидко відводиться. Це призводить до швидкого охолодження та затвердіння матеріалу.
5. Термічні перетворення: Внаслідок швидкого охолодження та термічних перетворень в матеріалі відбуваються зміни мікроструктури, що призводять до формування мартенситної структури та підвищення міцності і твердості поверхні.

Переваги методу лазерного поверхневого термозміцнення включають високу швидкість обробки та контрольованість процесу, локальний вплив на поверхню, збільшення міцності та твердості матеріалу, підвищення стійкості до зносу та корозії. Цей метод широко застосовується в автомобільній, авіаційній, енергетичній та інших галузях промисловості, де висока міцність та стійкість матеріалів має важливе значення.

Метод лазерного поверхневого термозміцнення є ефективним способом підвищення експлуатаційних властивостей конструкційних сталей. Особливості цього методу включають [12,13,16]:

1. Локалізований вплив: Лазерне зміцнення дозволяє проводити обробку лише на потрібних ділянках поверхні виробу. Це дозволяє точно контролювати зону впливу і забезпечує ефективне зміцнення в тих місцях, де це найбільш необхідно.
2. Висока температура: Лазерний промінь генерує високу температуру, що дозволяє здійснювати процес термозміцнення. Висока температура розплавлення сталі дозволяє відбуватися швидкому зміцненню поверхні при розплавленні і швидкому охолодженні.

						Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Мікроструктурні зміни: Під час лазерного термозміцнення відбуваються інтенсивні теплові цикли, що призводять до зміни мікроструктури матеріалу. Утворюються нові фази, напружені структури, дрібнозерниста структура та важливі структурні зміни, які покращують міцність і твердість поверхні.
4. Висока точність: Лазерні системи забезпечують високу точність і контроль процесу зміцнення. Розмір і форма зони впливу можуть бути настроєні з високою точністю, що дозволяє досягти бажаних характеристик поверхні.
5. Мінімальний вплив на основний матеріал: Лазерне термозміцнення зазвичай має мінімальний вплив на внутрішній шар матеріалу. Це зменшує ризик деформацій і змін властивостей в основному матеріалі.
6. Розширення життєвого циклу: Лазерне термозміцнення дозволяє підвищити опір сталі до зносу, корозії, тріщин та інших видів деградації матеріалу. Це призводить до значного подовження життєвого циклу конструкцій та зниження витрат на ремонт і заміну.

Застосування методу лазерного поверхневого термозміцнення дозволяє значно покращити експлуатаційні характеристики конструкційних сталей, забезпечуючи високу міцність, твердість та стійкість до зносу та корозії.

Алгоритм керування процесом лазерного термозміцнення зазвичай складається з наступних етапів [12,13,16]:

1. Визначення параметрів процесу: Перед початком процесу лазерного термозміцнення необхідно встановити параметри, такі як потужність лазера, швидкість сканування, час опромінення і інші відповідно до вимог і властивостей матеріалу, що підлягає зміцненню. Ці параметри впливають на глибину проникнення тепла, швидкість охолодження та інші аспекти процесу.
2. Підготовка поверхні: Перед лазерним термозміцненням поверхня металевої деталі повинна бути очищена від бруду, жирів, окалини та

						Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інших забруднень. Чиста поверхня забезпечує кращий контакт з лазерним променем і покращує ефективність зміцнення.

3. Налаштування обладнання: Налаштування лазерного обладнання включає встановлення потрібної потужності, фокусної відстані, режиму сканування і розташування деталі. Це забезпечує правильне спрямування лазерного променя на поверхню деталі.
4. Виконання лазерного зміцнення: Після підготовки і налаштування процесу лазерного термозміцнення починається опромінення поверхні деталі лазерним променем. Лазерний промінь розташовується на вибраній поверхні, аплікуючи високу енергію на метал. Це викликає місцеве нагрівання, швидке плавлення і подальше охолодження матеріалу, що призводить до його зміцнення.
5. Контроль процесу: Під час процесу лазерного термозміцнення важливо контролювати параметри процесу, такі як потужність лазера, швидкість сканування, температура і час опромінення. Це дозволяє забезпечити однорідне зміцнення та уникнути надмірного нагрівання або деформації деталі.
6. Охолодження і закріплення: Після завершення опромінення деталь охолоджується, щоб зміцнений шар матеріалу став стійким і твердим. При необхідності можуть бути застосовані додаткові методи охолодження, наприклад, за допомогою струменів повітря або рідини. Після охолодження деталь може бути закріплена або піддана додатковим обробкам, які можуть покращити структуру та властивості зміцненого шару.

Важливо відзначити, що конкретний алгоритм керування може варіюватись в залежності від типу лазерного обладнання, властивостей матеріалу та вимог щодо кінцевого результату [14-17].

						Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.5. Дослідження твердості та шорсткості поверхні сталі 30ХГСА

Плоскі зразки розмірами із 30ХГСА було піданно лазерному поверхневому термообробці (табл. 3.5.1) з використанням високопотужного дискового лазера TRUMPF TruDisk 8002 потужністю 160...8000 Вт та 3D сканувальної оптики.

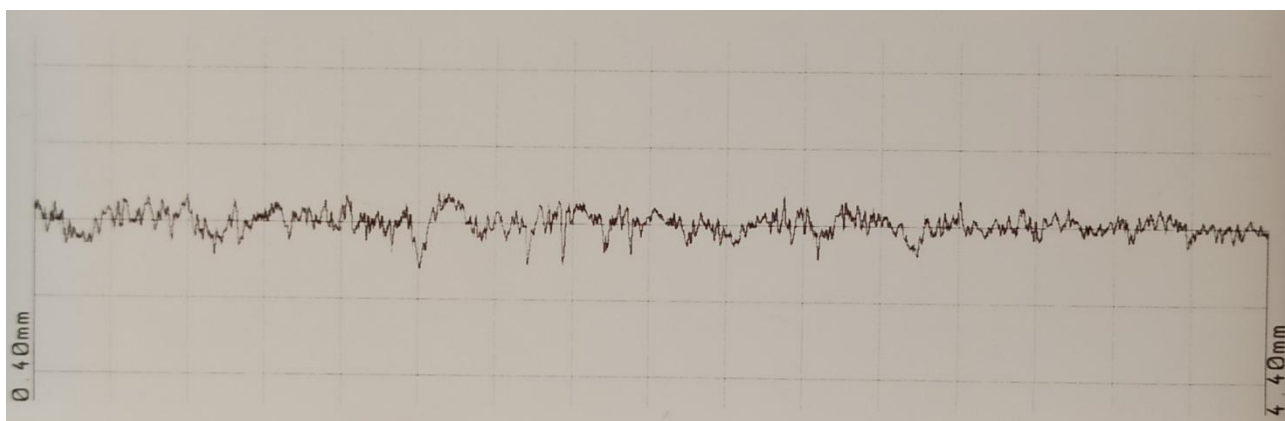
Таблиця 3.5.1 – Параметри лазерної термообробки

Номер режиму обробки	Потужність, P (кВт)	Швидкість обробки (подачі зразка), S (мм/с)	Швидкість сканування лазерного променя, V (мм/с)
ЛТО1	1,35	9	20000
ЛТО2	1,35	11	
ЛТО3	1,35	15	
ЛТО4	1,95	9	
ЛТО5	1,95	11	
ЛТО6	1,95	15	
ЛТО7	2,25	9	
ЛТО8	2,25	11	
ЛТО9	2,25	15	
ЛТО10	1,05	11	
ЛТО11	2,25	11	
ЛТО12	2,55	11	

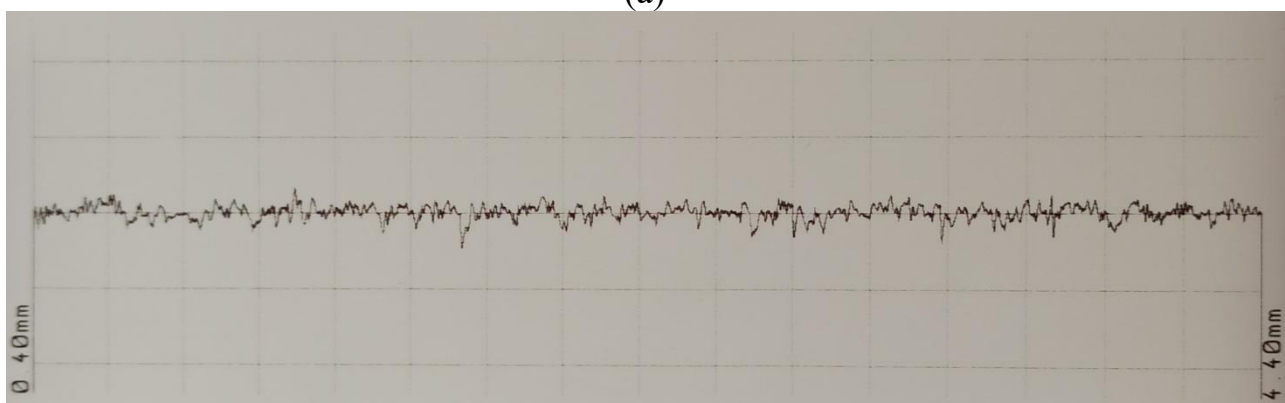
Для реалізації автоматизованого 3D процесу лазерного поверхневого зміцнення, було використано легкий робот інноваційної серії FANUC M-710iC-50, який має тонке зап'ястя, жорстку руку та невелику площу.

Лазерний промінь передається до сканувальної оптики за допомогою оптоволокна діаметром 200 мкм. Сканувальна головка здатна обробляти еліптичне поле зображення розміром $385 \times 300 \text{ мм}^2$.

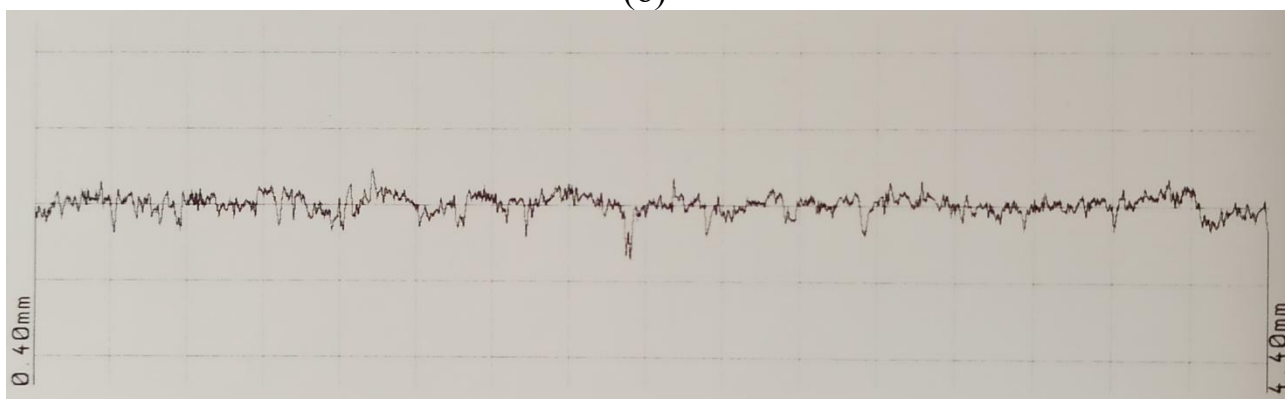
Профілограми поверхні до та після лазерного термозміцнення 30ХГСА дисковим лазером приведено на рис. 3.5.1.



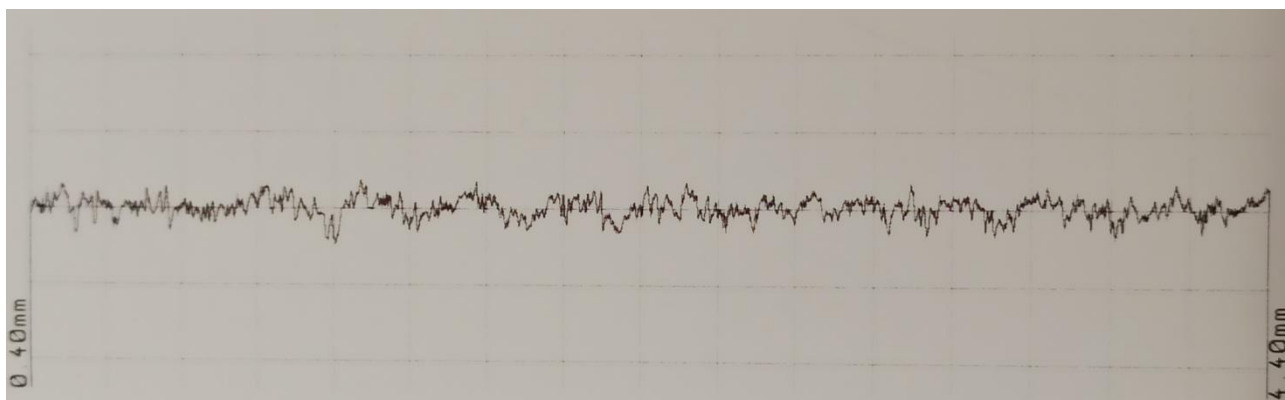
(a)



(б)

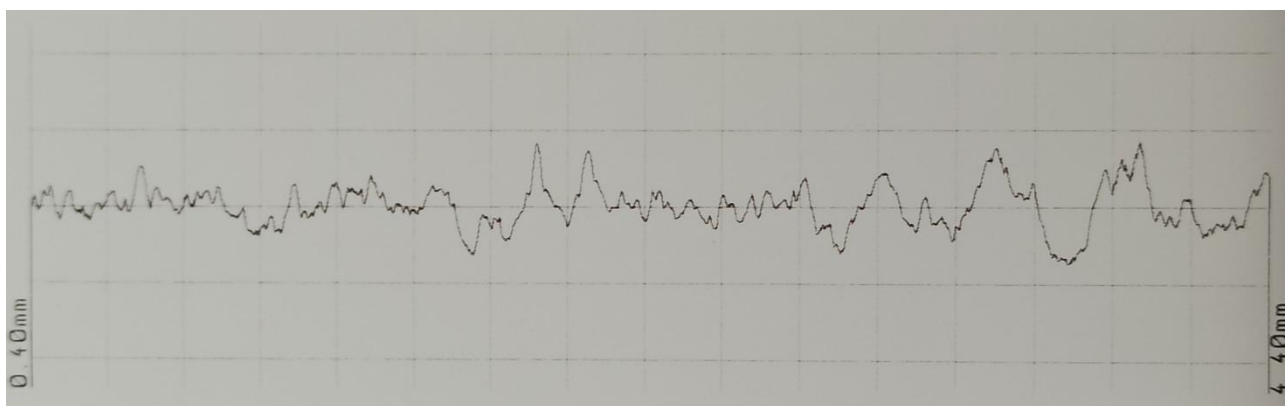


(B)

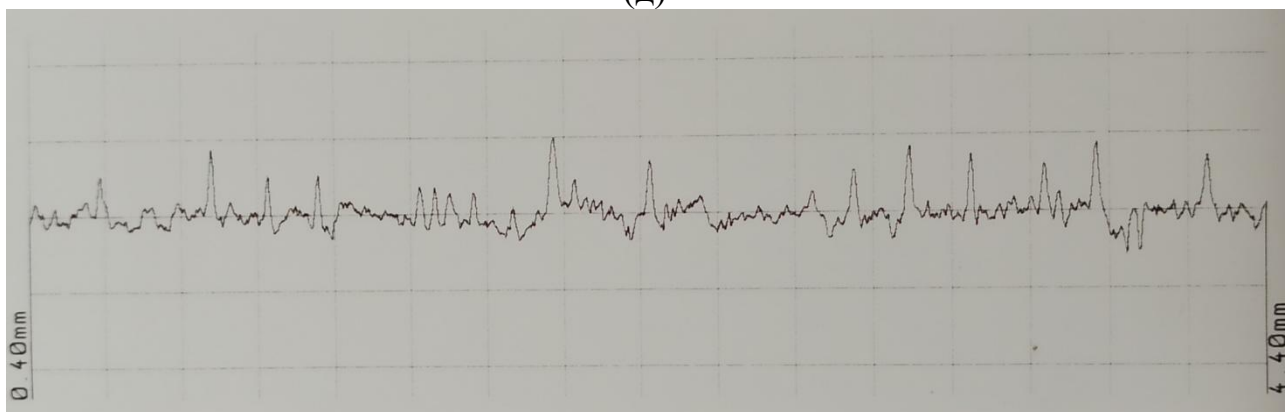


(Г)

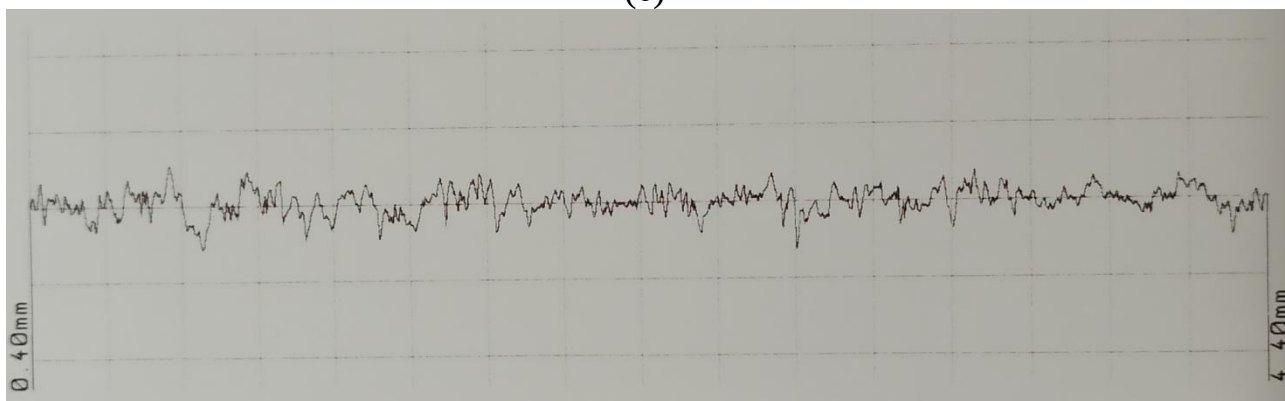
						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57



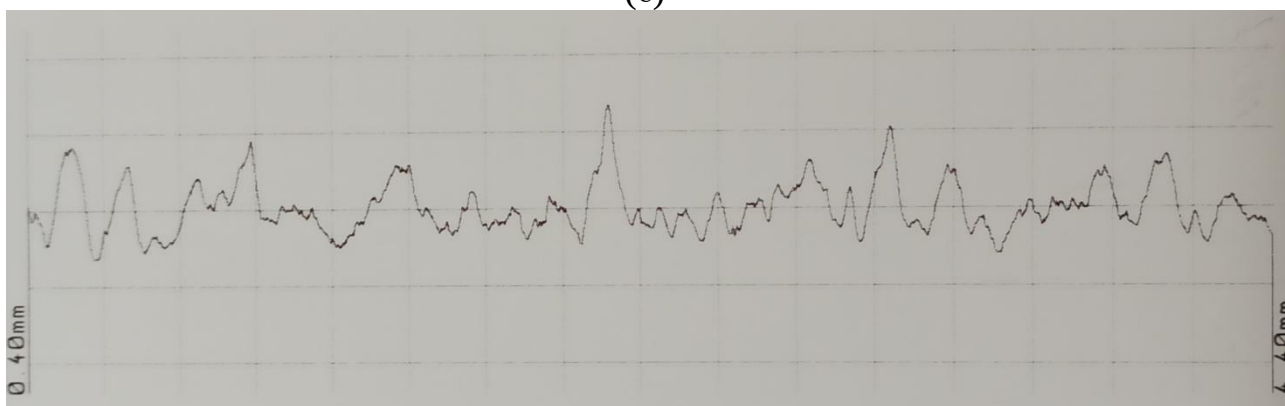
(Д)



(е)

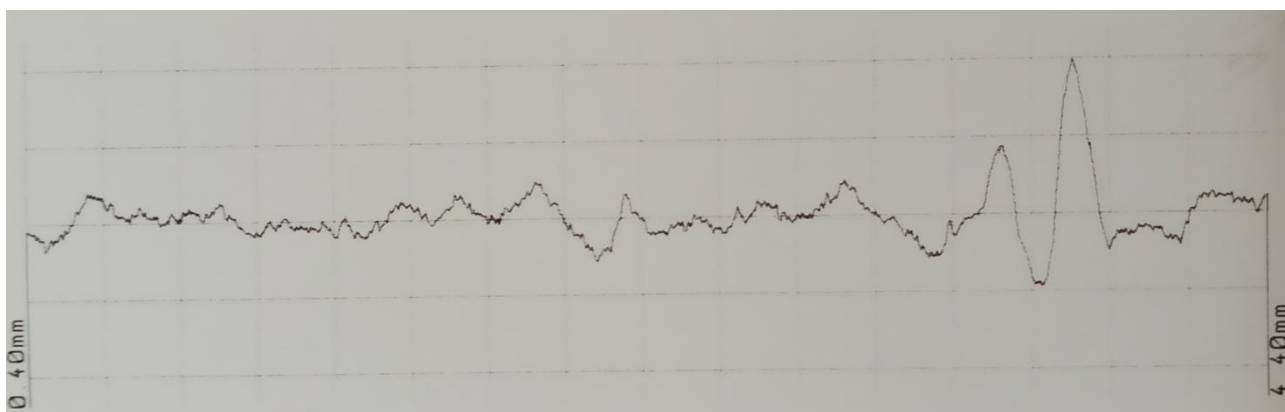


(є)

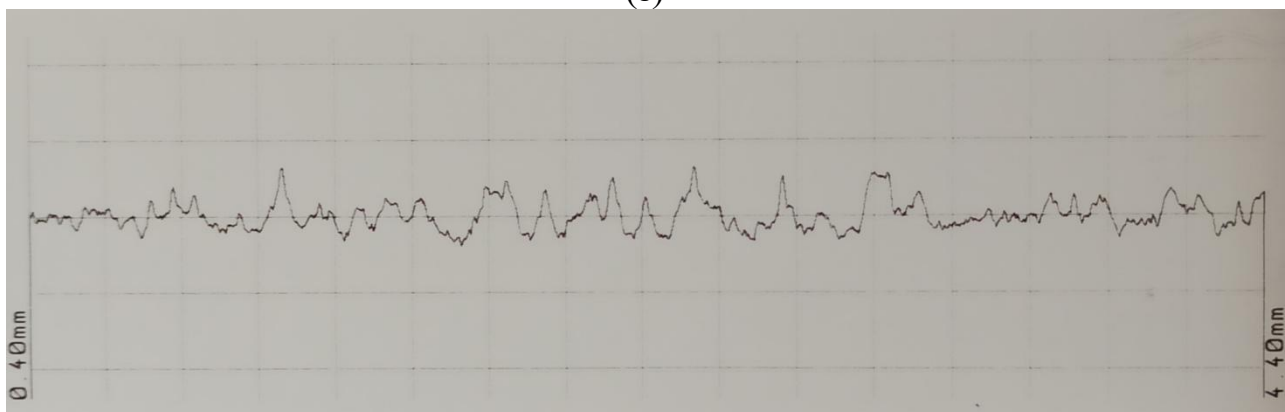


(Ж)

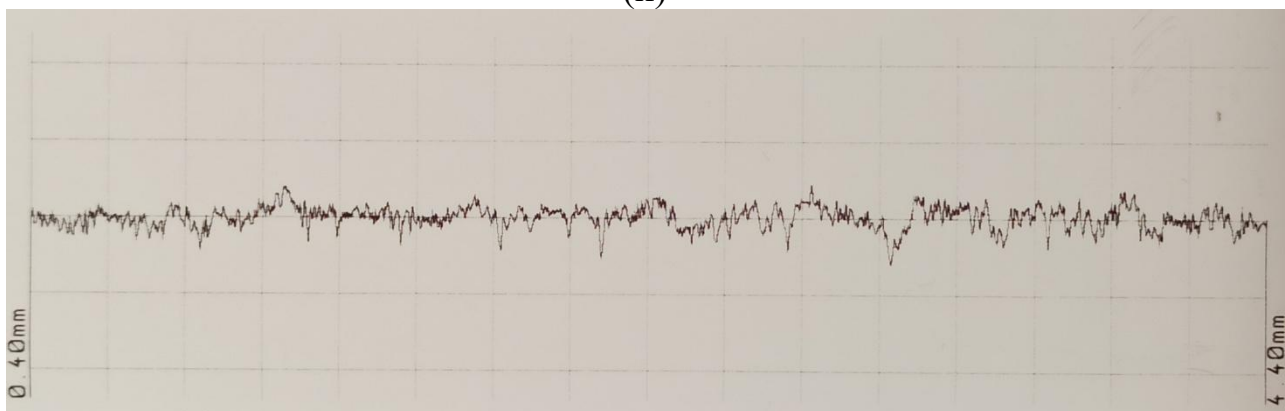
						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58



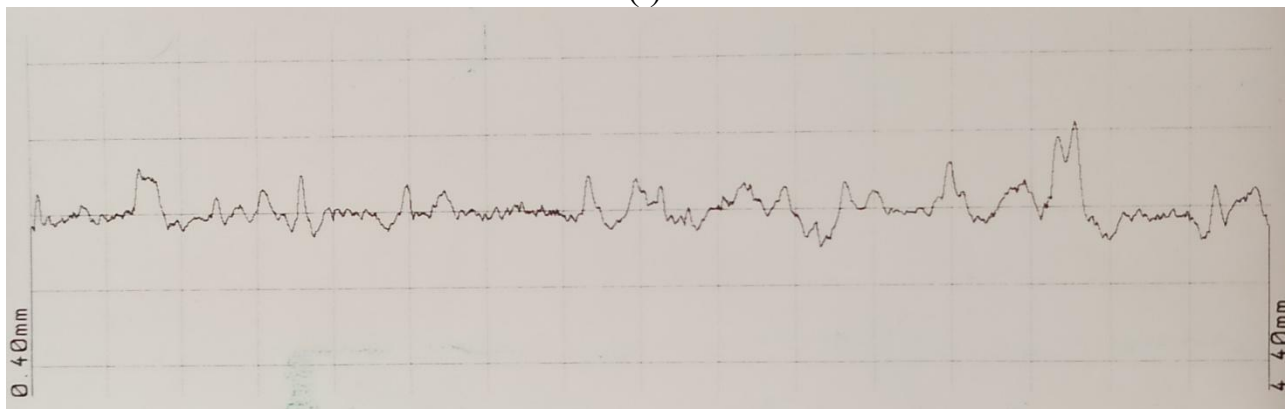
(3)



(и)

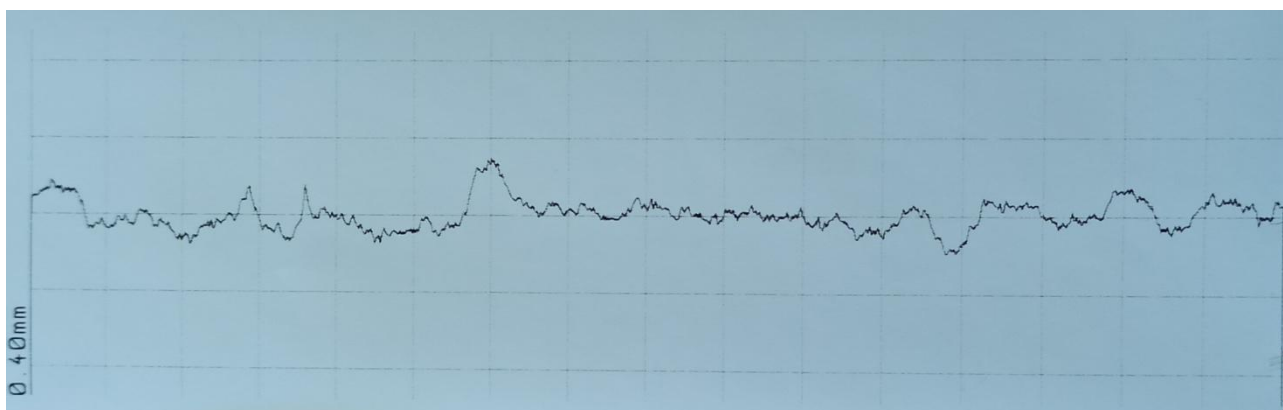


(i)



(і)

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59



(й)

Рисунок 3.5.1. Вплив потужності лазерного променя та швидкості лазерної обробки на профіль шорсткості поверхні сталі 30ХГСА: (а) вихідний стан; (б–й) після лазерної обробки.

В порівнянні із необробленим зразком ($R_a = \sim 0,6$ мкм), лазерна термообробка (ЛТО) при потужності лазера 1,35 та 1,95 кВт (ЛТО1–ЛТО6) не приводить до значної зміни параметрів шорсткості та хвилястості за винятком режиму ЛТО4 (рис. 3.5.2). Геометричні параметри незначно варіюються внаслідок формування оксидної плівки на поверхні.

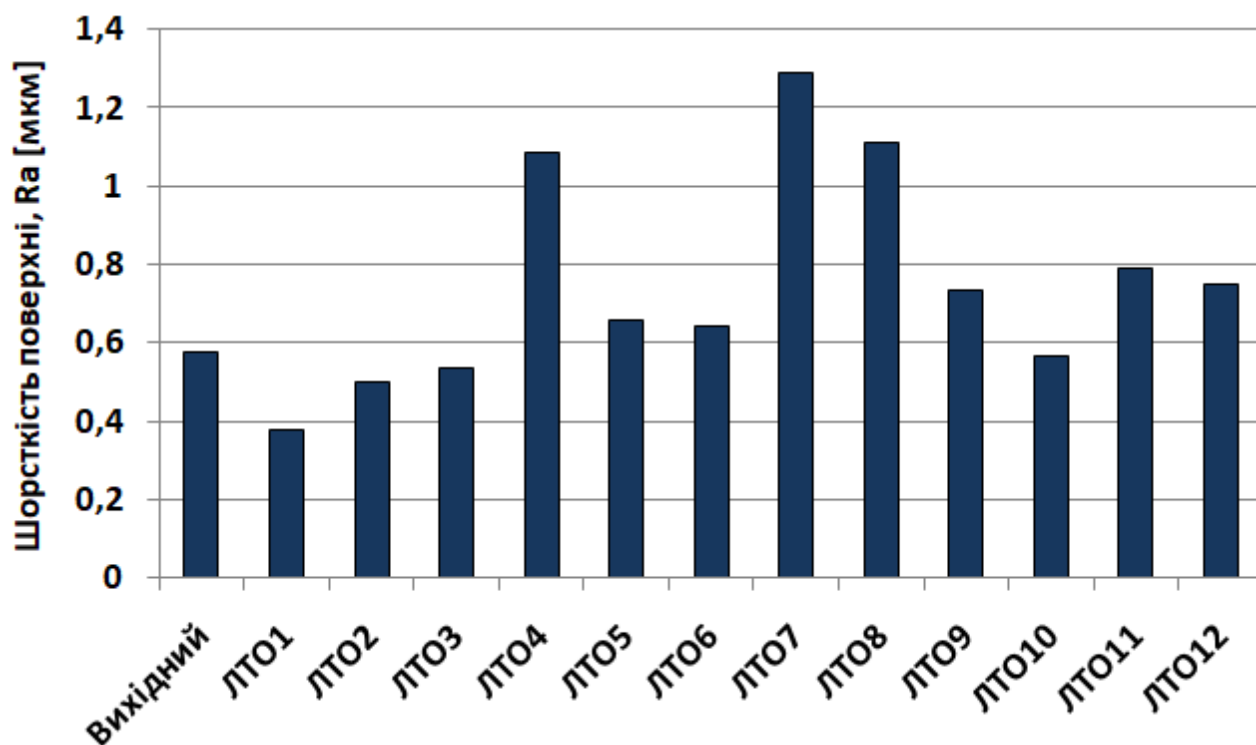


Рисунок 3.5.2. Шорсткість поверхні сталі 30ХГСА.

					Арк.
					60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

В нашому випадку лазерна термообробка виконана без використання захисних газів. Як результат, оксидна плівка значної товщини може бути сформована на поверхні. В подальшій роботі планується дослідження поверхневого шару товщиною 3–10 мкм методом рентгеноструктурного аналізу.

Тим не менш, слід зазначити, що параметри шорсткості підвищуються при збільшенні потужності лазера понад 2 кВт (рис. 3.5.1, рис. 3.5.2) внаслідок часткового оплавлення поверхні. Лазерна термообробка при потужності 2,55 кВт та швидкості переміщення оброблюваного зразка 9 мм/с (ЛТО10) веде до уникнення даже часткового оплавлення нерівностей профілю.

Лазерна термообробка при потужності лазера 1,35 кВт не приводить до необхідного зміцнення поверхневого шару досліджуваної сталі (рис. 3.5.2). За результатами оцінки інтенсивності зміцнення, визначені значення оброблених при потужності лазерного променя 1,95–2,25 кВт (режими ЛТО4, ЛТО5, ЛТО7–ЛТО9, ЛТО11, ЛТО12) зросли приблизно на 250% (55–60 HRC₅) в порівнянні із необробленим зразком (~15 HRC₅).

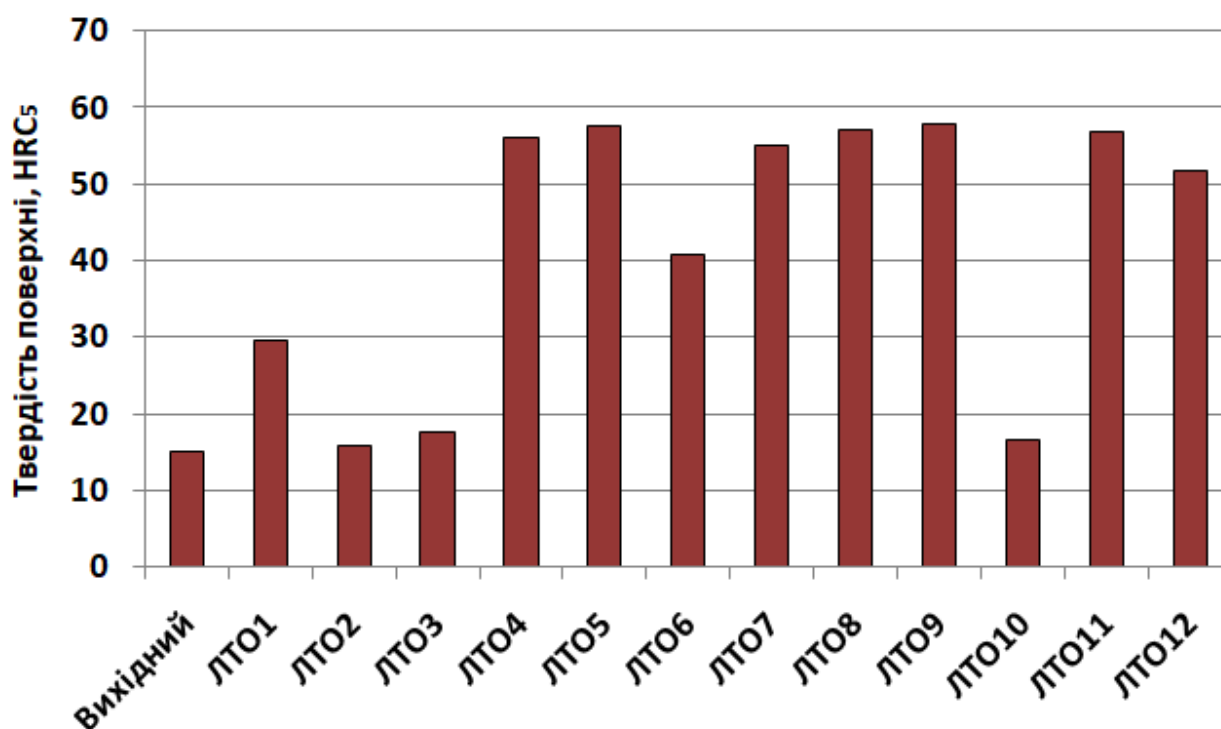


Рисунок 3.5.3. Твердість поверхні сталі 30ХГСА.

Інтенсивність зміцнення (u_3) поверхні визначали за відношенням різниці між значеннями твердості поверхні обробленого та необробленого валу за формулою $u_3 = (H_{\mu}^o - H_{\mu}^{no}) / H_{\mu}^{no} \cdot 100\%$.

Збільшення потужності лазерного променя ($P = \sim 2$ кВт) веде до збільшення величин твердості поверхні приблизно в 3 рази (рис. 5.5.3) відповідно після ЛТО при швидкості переміщення оброблюваної поверхні 9 мм/с (режим ЛТО4) та 11 мм/с (режим ЛТО5). Це пояснюється утворенням дрібнозернистої мартенситної структури та підвищенням щільності дислокацій в приповерхневому шарі.

3.6. Технологічні рекомендації для практичної реалізації лазерного термозміцнення валу

Враховуючи приведені результати шорсткості та твердості/інтенсивності зміцнення поверхні сталі 30 ХГСА, встановлено діапазони оптимальних (раціональних) параметрів локального лазерного термозміцнення валу дисковим лазером (табл. 3.6.1).

Таблиця 3.6.1. Технологічні рекомендації для лазерного термозміцнення валу.

Тип лазера	Режими обробки	Значення
Дисковий лазер (зміцнення за способом підтримання постійної потужності лазера)	Потужність лазера, кВт	1,5–1,8
	Швидкість обробки, мм/с	11–13
	Швидкість сканування лазерного променя, мм/с	20000
	Діаметр променя, мм	1

ВИСНОВКИ

У процесі розробки технологічного процесу виготовлення валу редуктора сівалки було виконане наступне:

- проведено аналіз службового призначення валу і його умови роботи у вузлі, а також проаналізовано технологічність валу та його заготовки;

- визначено тип/форму організації виробництва і спосіб виготовлення заготовки, а також розроблено маршрутний технологічний процес виготовлення валу та керуючі програми;

- визначено припуски як аналітичним, так і табличним способом та визначено технічну норму часу для типових обробок, а також запропоновано конструкції пристроїв (самоцентрувальні машинні лещата та важільно-клиновий патрон з пневмоприводом) відповідно для фрезерної та токарної операцій;

- проведено дослідження напруженого стану валу в умовах експлуатації за допомогою пакету програмного забезпечення «SolidWorks 2014»;

- запропоновано використати лазерну термообробку на основі аналізу висококонцентрованих методів поверхнево термічного зміцнення;

- розроблено технологічні рекомендації для лазерного термозміцнення валу дисковим лазером на основі результатів шорсткості та твердості/інтенсивності зміцнення поверхні сталі 30 ХГСА;

- розроблений технологічний процес виготовлення валу редуктора може бути успішно впроваджений при виробництві як на Агрофірмі «Колос» (м. Полонне, Хмельницька обл.), так і інших підприємствах (ВАТ «Червона зірка» (м. Кропивницький), ПАТ «Уманьферммаш» (м. Умань, Черкаська обл.), ПП ВКФ «Велес-Агро» (м. Одеса) та ін.).

						Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Методичні вказівки до виконання самостійної роботи з дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство» для студентів Усіх форм навчання / Укл.: Трофименко В.В., Овчаренко В.І. – Д.: ДВНЗ УДХТУ, 2016. – 40 с.
- [2] 2 Іванов, І.М. Організація виробництва на промислових підприємствах: Підручник. - М.: ИНФРА - М, 2008. - 352с.
- [3] Методичні вказівки до виконання курсової та контрольної робіт з дисципліни «Проектування та виробництво заготовок» / Укл. С.С. Добрянський – К.: НТУУ «КПІ», 1998. 42 с.
- [4] Методичні вказівки до лабораторних занять та самостійної роботи з дисципліни «Проектування та виробництво деталей». Частина 1. Розробка технології виготовлення деталей / Укл. С.С. Добрянський – К.: НТУУ «КПІ», 1998. 51 с.
- [5] Городжа А.Д. Матеріалознавство та електротехнічні матеріали: Навчальний посібник. – К: КНУБА, 2006. – 280 с.
- [6] Попович В., Голубець В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. – Кн. II. – Суми: Університетська книга, 2002. – 160 с.
- [7] Технологія конструкційних матеріалів: Підручник / М.А. Сологуб, І.О. Рожнецький, О.І. Некоз та ін.; За ред М.А. Сологуба. – К.: Вища шк., 2006. – 300 с.
- [8] Гарнець В.М. Матеріалознавство. Підручник. – К.: Кондор, 2009.- 386.
- [9] Головка Л.Ф. Лазерні технології та комп'ютерне моделювання / Під ред. Л.Ф. Головка, С.О. Лук'яненка. – К.: Вістка, 2009. – 296 с.
- [10] Wang, X., Cheng, G., & Zhang, L. (2017). Laser surface melting and remelting for enhancing the fatigue performance of metallic materials: A review. Journal of Materials Science & Technology, 33(5), 497-516.
- [11] Huang, W., Liu, J., & Li, H. (2015). Laser shock peening and its effects on mechanical properties of metals: A review. Optics and Lasers in Engineering, 70, 1-12.

						Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- [12] Yao, Y., Zhang, Y., & Li, L. (2016). Laser cladding: A comprehensive review. *Journal of Laser Applications*, 28(2), 022201.
- [13] Shishkovsky, I., & Romanov, A. (2018). Laser surface hardening of steels: A review. *Optics and Lasers in Engineering*, 102, 229-243.
- [14] Bai, Q., Huang, W., & Dong, C. (2017). Laser additive manufacturing and its perspectives in industry 4.0. *Laser & Photonics Reviews*, 11(2), 1600219.
- [15] Chen, L., & Shin, Y. C. (2017). Laser shock peening of metals: Mechanisms, modeling, and applications. *Journal of Materials Processing Technology*, 241, 319-346.
- [16] Li, C., & Yao, M. (2018). Surface modification of titanium alloy by laser shock peening and laser irradiation. *Optics & Laser Technology*, 103, 130-139.
- [17] Gireesh, K. K., et al. (2019). Laser-assisted surface engineering techniques for improving the mechanical properties of metals: A review. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 28(7), 4209-4235.
- [18] Chen, J., et al. (2018). Laser shock peening and laser peen forming: A review. *Journal of Materials Science & Technology*, 34(1), 15-34.
- [19] Ahmad, Z., et al. (2019). Laser surface melting of metallic materials: A review. *Optics & Laser Technology*, 118, 19-37.
- [20] Ma, W., et al. (2019). Laser peening: From research to industrial application. *Materials Science & Engineering R: Reports*, 135, 1-40.
- [21] Gao, W., et al. (2018). A review of laser cladding process for metal additive manufacturing. *Journal of Laser Applications*, 30(3), 032004.
- [22] Zhang, Y., et al. (2018). Laser surface engineering of titanium alloys for improved corrosion and wear resistance: A review. *Surface & Coatings Technology*, 353, 180-193.
- [23] Khan, M. S., et al. (2019). Laser-assisted machining: A review. *Journal of Materials Processing Technology*, 265, 282-309.
- [24] Song, X., et al. (2018). A review on laser assisted machining of difficult-to-machine materials. *Journal of Materials Processing Technology*, 252, 92-101.

						Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- [25] Chen, Y., et al. (2019). A review of laser shock peening on high-strength titanium alloy. *Journal of Materials Science & Technology*, 35(1), 26-38.
- [26] Khan, M. S., et al. (2019). Laser surface engineering of titanium alloys: A review. *Journal of Materials Science & Technology*, 35(1), 9-25.
- [27] Lei, L., et al. (2019). A review on laser cladding technology. *Journal of Laser Applications*, 31(2), 022009.
- [28] Sun, H., et al. (2018). Review of laser metal deposition process for large and complex components. *Optics and Lasers in Engineering*, 106, 35-49.
- [29] Ma, W., et al. (2017). Laser peening technology and its applications: A state-of-the-art review. *Optics & Laser Technology*, 97, 155-169.
- [30] Ghosh, A. K., and Datta, A. K. (2013). *Laser Surface Engineering: Processes and Applications*. CRC Press.
- [31] Gu, D. D., Meiners, W., and Wissenbach, K. (Eds.). (2017). *Laser Additive Manufacturing: Materials, Design, Technologies, and Applications*. Woodhead Publishing.
- [32] Marimuthu, S., Jawaid, A., Jeevanantham, A. K., and Balasubramanian, K. (2018). *Laser Surface Engineering: Processes, Materials, and Applications*. CRC Press.
- [33] Paoletti, A., Orazi, L., and Kaplan, A. F. H. (Eds.). (2018). *Laser Surface Modification of Biomaterials: Techniques and Applications*. Woodhead Publishing.
- [34] Hong, M., and Yao, Y. L. (2014). *Laser Cladding*. Springer Science & Business Media.
- [35] Jahanmir, S., and Ramulu, M. (Eds.). (2014). *Laser-Assisted Microtechnology*. CRC Press.
- [36] Katayama, S. (2017). *Laser Shock Processing of FCC Metals: Mechanical Properties and Micro-structural Strengthening Mechanism*. Springer.