

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Механіко-машинобудівний
(факультет)

Кафедра конструювання, технічної естетики і дизайну
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

Студента Єруха Руслана Владиславовича
(ПІБ)

академічної групи 132-22ск-2
(шфр)

спеціальності 132 Матеріалознавство
(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____
(за наявності)

за освітньо-професійною програмою _____
(офіційна назва)

«Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів»

на тему Обґрунтування раціональних параметрів відновлення колеса велосипедного крану із вибором матеріалу наплавлення
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Довгаль Д.О.			
розділів:				
Аналіз стану питання та постановка задач роботи	Довгаль Д.О.			
Функціональний аналіз та моделювання об'єкта розробки	Довгаль Д.О.			
Інженерно-технологічний	Ротт Н.О.			
Експлуатаційний	Федоряченко С.О.			
Рецензент				
Нормоконтролер	Гаркавенко Д.В.			

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
конструювання, технічної
естетики і дизайну
(повна назва)

_____ Федоряченко С.О.
(підпис) (прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеню _____ бакалавра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Єруху Руслану Владиславовичу академічної групи 132-22ск-2
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 132 Матеріалознавство
спеціалізації _____

за освітньо-професійною програмою «Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів»

на тему Обґрунтування раціональних параметрів відновлення колеса велосипедного крану із вибором матеріалу наплавлення

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 14.05.2025р. №369-с.

Розділ	Зміст	Термін виконання
Аналіз стану питання та постановка задач роботи	Аналіз стану питання та постановка задач роботи	01.05.2025
Функціональний аналіз та моделювання об'єкта розробки	Проведення функціонально-вартісного аналізу елементів стріли телескопічного навантажувача стрічки. Інженерний розрахунок. Моделювання та аналіз НДС за допомогою МСЕ	15.05.2025
Інженерно-технологічний	Обґрунтування і технологія наплавлення з описом устаткування	30.05.2025
Експлуатаційний	Визначення видів та методів контролю якості тримача ковша навантажувача	06.06.2025

Завдання видано _____
(підпис керівника)

Довгаль Д.О.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі 01.05.2025

Дата подання до екзаменаційної комісії 25.06.2025

Прийнято до виконання _____

Єрух Р.В.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: __ с., __ рис., __ табл., __ джерел.

ВЕЛОСИПЕДНИЙ КРАН, НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН, РЕЖИМИ НАВАНТАЖЕННЯ, ТЕХНОЛОГІЯ НАПЛАВЛЕННЯ, МЕТОДИ КОНТРОЛЮ.

Об'єкт розроблення – процес силової взаємодії вихідних ланок ходової частини велосипедного крану та рейкової колії.

Мета роботи – відновлення кранових коліс за рахунок впровадження технологій наплавлення.

Результати та їх новизна – проведено аналіз умов експлуатації та визначено особливості взаємодії колеса велосипедного крану та рейкової колії.

У вступі описано призначення велосипедного крану, його конструкцію та принцип роботи. Проведений аналіз можливих способів відновлювального наплавлення кранових коліс. Обґрунтовано перелік завдань для досягнення мети дипломного проекту.

У розділі функціонального аналізу та моделювання об'єкта розробки, виконано функціонально-вартісний аналіз велосипедного крану. Створено 3D-модель колеса крана за допомогою програмного забезпечення Autodesk Fusion 360. За допомогою 3D і МСЕ моделювання виконано розрахунок напружено-деформованого стану елементів фрикційної пари: колесо-рейка велосипедного крану.

У технологічному розділі запропоновано технологію відновлювального наплавлення кранових коліс методом автоматичного наплавлення під флюсом.

Сфера застосування розробки – експлуатація ланок підйомних механізмів в умовах значного навантаження в важких режимах роботи.

Практична значимість кваліфікаційної роботи – підвищення працездатності та економічності експлуатації ланок ходової частини велосипедного крану.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ РОБОТИ.....	6
1.1 Види вантажопідіймальних кранів	6
1.2 Опис виробу та особливостей його експлуатації	7
1.3 Властивості матеріалу виробу та оцінка його зварюваності.....	11
1.4 Обґрунтування вибору способу відновлювального наплавлення	12
1.5 Постановка задачі.....	20
РОЗДІЛ 2. ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА РОЗРОБКИ.....	22
2.1 Функціонально-вартісний аналіз	22
2.2 Моделювання об'єкта розробки.....	25
2.3 Аналіз навантаження існуючої розробки і обґрунтування вихідних параметрів для аналізу напружено-деформованого стану	30
2.4 Розрахунок МСЕ об'єкта розробки.....	36
2.5 Висновки з 2 розділу	40
РОЗДІЛ 3. ІНЖЕНЕРНО ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	41
3.1 Вибір параметрів режиму відновлювального наплавлення	41
3.2 Вибір та опис наплавлювальних матеріалів	43
3.3 Устаткування для проведення відновлювального наплавлення	45
3.4 Опис операцій проектного технологічного процесу відновлювального наплавлення	46
3.5 Висновки з 3 розділу	49
4 РОЗДІЛ. ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ	51
4.1 Сертифікація виробу за допомогою твердоміра.....	52
4.1.1 Твердомір NOVOTEST T-УД2.....	55
4.2 Контроль якості зварювальних швів за допомогою ультразвукового дефектоскопа	59
4.2.1 Ультразвуковий дефектоскоп NOVOTEST УД3701	59
4.3 Висновки з 4 розділу	65
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	67
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68

ВСТУП

Перед сучасним виробництвом стоїть завдання підвищення продуктивності та зниження собівартості продукції, що випускається. У цьому можливі два напрями підвищення економічної ефективності виробництва. Перший напрямок – вдосконалення основних технологічних операцій. Другий напрямок – механізація та автоматизація допоміжних робіт.

Вантажопідйомні крани займають провідне місце в системі машин для механізації монтажних і вантажно-розвантажувальних робіт. За допомогою вантажопідіймальних кранів досягаються високі темпи в автоматизації допоміжних робіт.

Перехід підприємств машинобудування і будівництва на ринкові відносини обумовлює підвищення конкурентоспроможності вантажопідіймальних кранів і якості їх експлуатації.

Робота крана призводить до поступового зносу і руйнування складальних одиниць і деталей. Процес, що приводить до поступового зносу крана, називається зношуванням. Зношування, що виникає під впливом різних факторів при нормальній експлуатації кранів, називається природним, а його результат – природним зносом. Зношування, що протікає швидко і є результатом поганого догляду, дефектів виробництва, називається аварійним, а його результат – аварійним зносом.

Під час експлуатації кранів найчастіше зносу піддаються ходові колеса, що призводить до незапланованих виробництвом технічних робіт з їх ремонту або закупівлі та монтажу нових коліс.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ РОБОТИ

1.1 Види вантажопідіймальних кранів

Серед конструкцій вантажопідіймальних кранів розрізняють крани стрілового типу, мостового типу, крани з несучими канатами і крани-штабелери.

Крім класифікації кранів по конструкції, існують класифікації за іншими ознаками:

- за конструкцією вантажозахоплювального органа та за призначенням – крюки, грейфери, магнітні, магнітно-грейферні, траверсів, крани з лапами, магнітний, мульдогрейферні, мульдозавальні, штирові, копрові, гартівні, ливарні, посадочні, крани для роздягання злитків, колодязні, кувальні, контейнерні та ін.;
- по можливості переміщення – стаціонарні, приставні, самопіднімальні, переставні, радіальні, пересувні, самохідні, причіпні;
- по конструкції ходового пристрою – рейкові, залізничні, крокуючі, автомобільні, крани на шасі автомобільного типу, гусеничні, тракторні, пневмоколісні, плавучі;
- за родом приводу механізмів – ручні, механічні, електричні, гідравлічні, пневматичні, крани з комбінованим приводом.

Велосипедні крани використовуються на металургійних та машинобудівних підприємствах, завдяки своїй конструкції вони дозволяють економити виробничу площу та забезпечувати механізацію вантажопідійомних операцій на всіх етапах виробництва. На ринку є сотні типів і різновидів кранів з різними технічними виконаннями. Це особливо торкається колес, оскільки кожен виробник вантажопідійомної техніки випускає їх за власними нормами.

Технічний стан крана визначає безпеку та тривалість його експлуатації. Для того щоб забезпечити безпеку при роботі вантажопідійомної техніки, застосовуються різні методи. У приводних механізмах та керуючих системах застосовується дублювання. Сталеві канати і деталі, що швидко зношуються,

проходять періодичну заміну. Кранові колеса працюють у несприятливих умовах, які призводять до їх інтенсивного зношування внаслідок дії динамічних навантажень та абразивного зношування.

Значні статичні та динамічні навантаження призводять до виникнення дефектів кранових коліс. При ремонті металевих конструкцій широке застосування отримала ручне дугове наплавлення штучними електродами, що супроводжується отриманням великої кількості дефектів. виправлення цих дефектів вимагає залучення додаткових витрат. Практичний досвід з реновації деталей машин дозволяє встановити, що дефекти наплавлення виникають у разі порушення заданих параметрів режиму наплавлення, недостатньо якісно проведеної підготовки поверхні деталей під наплавлення, неправильний вибір технології наплавлення та наплавних матеріалів.

Підвищення ефективності ремонтних робіт вимагає заміни ручного дугового наплавлення на більш продуктивний спосіб відновлення.

Виходячи з вищевикладеного слід визнати актуальною мету випускної кваліфікаційної роботи – відновлення кранових коліс за рахунок впровадження технологій наплавлення.

1.2 Опис виробу та особливостей його експлуатації

Велосипедний кран, представлений на малюнку 1, є вантажопідійомною машиною, до складу якої входять такі елементи: механізми підйому, переміщення та повороту (1, 2 та 4), консоль (3), опорний поворотний пристрій (5) та гакова підвіска (6).

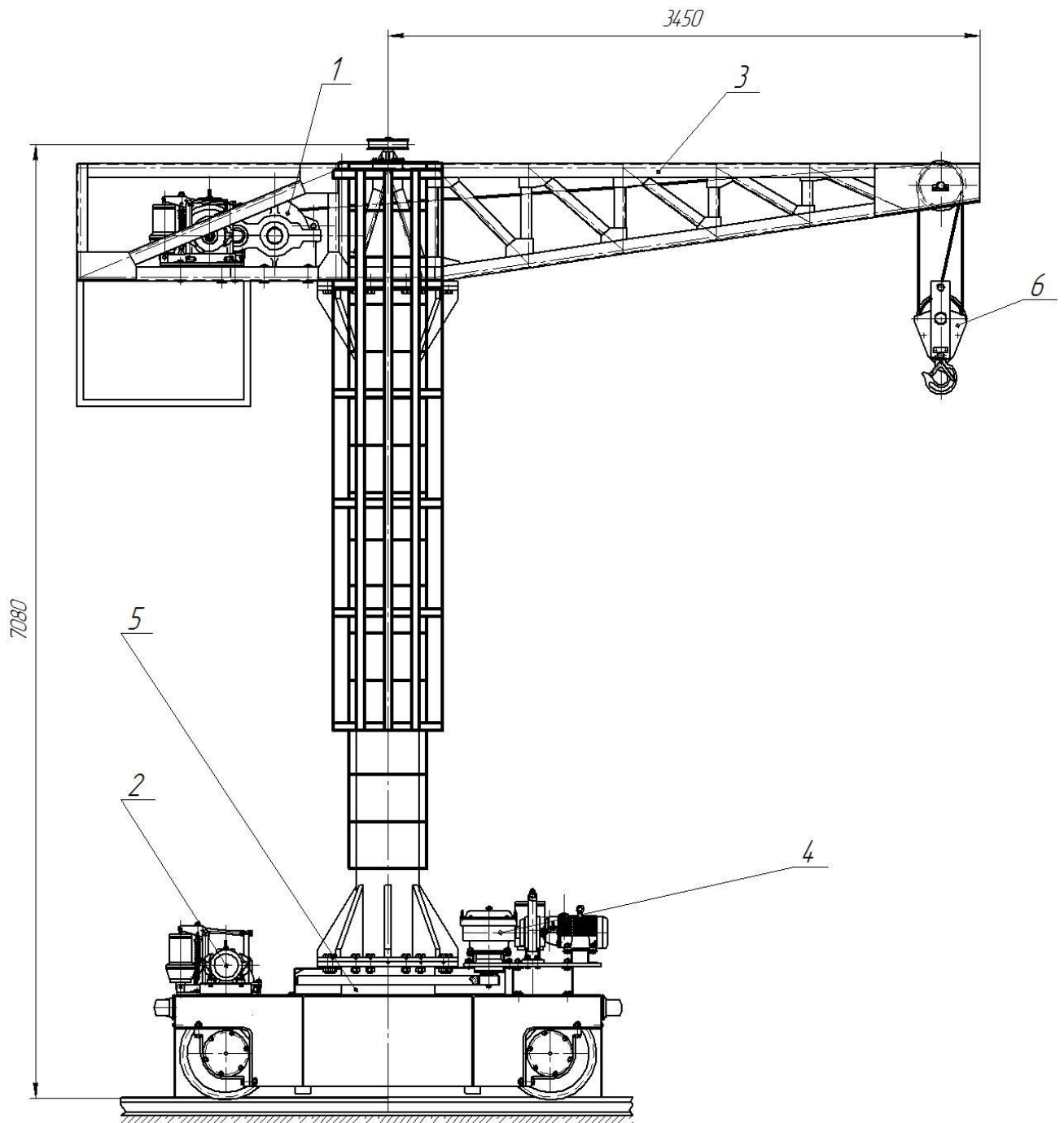


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд велосипедного крана

1 – механізм підйому; 2 – механізм переміщення; 3 – консоль; 4 – механізм повороту; 5 – опорний поворотний пристрій; 6 – гакова підвіска

У процесі руху крана по рейкам колеса крана зазнають значних динамічних навантажень, які викликають інтенсивне зношування реборд. Швидкість зносу реборди значною мірою залежить від діючих на ділянці контакту "рейкова головка - реборда колеса" сил тертя. Знакозмінні навантаження при розгоні та гальмуванні

крана викликають інтенсивне втомне знос кранових коліс, представлений на рисунку 1.2.



а)

б)

Рисунок 1.2 – Знос кранових коліс: відшарування поверхні катання та деформація реборди (а), руйнування колеса (б)

Знос кранових коліс відбувається внаслідок тривалого впливу експлуатаційних навантажень, контакту з рейками та дії зовнішніх чинників. Основними видами зносу є стирання, втомний знос, пластичне деформування гребеня колеса та утворення тріщин. Стирання виникає через постійний контакт з рейками, особливо при наявності забруднень або недостатнього змащення. Втомний знос пов'язаний з циклічними навантаженнями та призводить до утворення мікротріщин і відколів. Пластичне деформування спостерігається при перевантаженнях або ударах, що призводить до зміни профілю колеса. Також на знос впливають нерівності рейкового шляху, перекося конструкції та недотримання умов експлуатації. Для зменшення зносу застосовують регулярний контроль стану рейок і коліс, своєчасне виправлення рейкового шляху, правильний вибір матеріалу та теплової або поверхневої обробки коліс для підвищення їх зносостійкості.

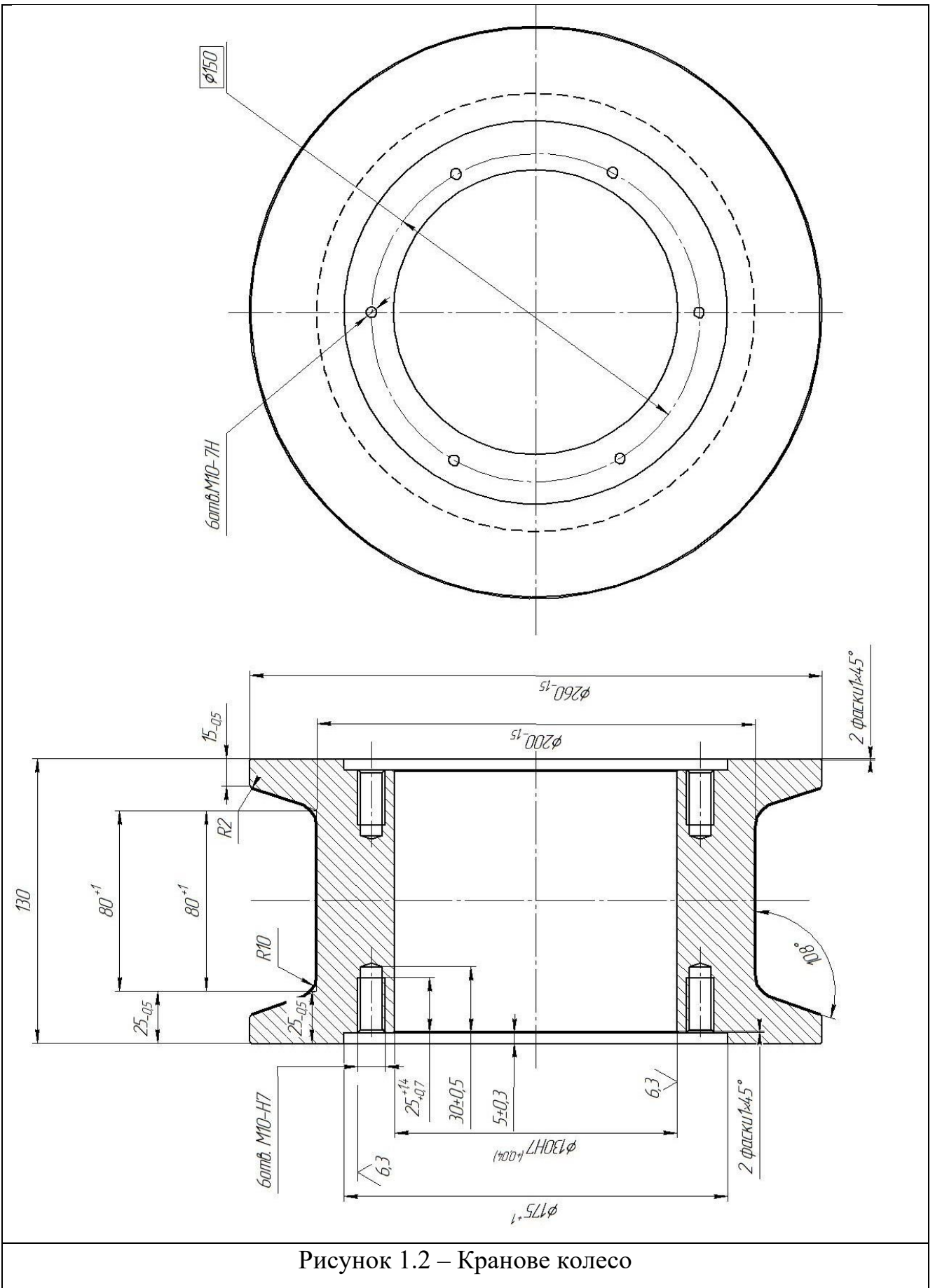


Рисунок 1.2 – Крановое колесо

Невідповідність твердості реборди кранового колеса та доріжки катання рейкової колії суттєво скорочує термін служби кранового колеса.

Також при складанні технології відновлення кранового колеса слід враховувати, що надмірна твердість наплавленого шару може призвести до зношування вже рейки. Так як навантаження на кранові колеса прикладається нерівномірно, внаслідок їхнього зносу виникає значна різниця в діаметрах, яка може стати причиною перекосу крана на колії і суттєво прискорити зношування реборди кранового колеса і рейок. Тому необхідно уважно відстежувати стан кранових коліс, виконуючи їх заміну і відновлення при необхідності. При цьому замінювати та відновлювати необхідно весь комплект коліс. Також слід враховувати, що на швидкість зношування кранових коліс впливає точність їх встановлення та наявність монтажного перекосу.

1.3 Властивості матеріалу виробу та оцінка його зварюваності

Вимоги до кранових коліс визначаються стандартами, такими як ДСТУ, ГОСТ, а також ISO, і вони стосуються матеріалів, механічних властивостей, точності виготовлення та геометрії. Ось основні положення, які містять ці вимоги (узагальнено на основі типових стандартів, наприклад ДСТУ ГОСТ 28648, ДСТУ ISO 4301, ДСТУ EN 15085).

Кранові колеса виготовляються з легованих або вуглецевих сталей з високою твердістю поверхні (зазвичай 300–500 НВ) для підвищення зносостійкості. Матеріал повинен мати достатню ударну в'язкість та тріщиностійкість для роботи при циклічних і ударних навантаженнях.

Заготівлі кранових коліс згідно з стандартами мають бути виконані із сталі 75 або 65Г. Дозволяється виконання кранових коліс з марок сталі інших марок, механічні властивості яких не гірше, ніж у сталі 30. Кранове колесо, що розглядається в цій випускній кваліфікаційній роботі, виконано зі сталі 30, склад якої наведено в таблиці 1, а властивості – в таблиці 2.

Таблиця 1.1 – Зміст хімічних елементів у сталі 30

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
0,27 – 0,35	0,17 – 0,37	0,5 – 0,8	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,25	до 0,008	до 0,3	до 0,08

Таблиця 1.2 – Механічні властивості при T=20°C матеріалу сталь 30

Сортамент	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	ψ , %
Прокат	490	295	21	50

Сталь цього типу відноситься до конструкційних вуглецевих сталей середнього вмісту вуглецю. Сталь 30 має помірну зварюваність, це означає, що її зварювання і наплавлення повинні виконуватися з використанням попереднього підігріву до температури 100 ... 120 °С. Також бажано застосовувати повільне охолодження після зварювання для зменшення внутрішніх напружень і запобігання утворенню тріщин. У разі потреби деталі піддають термічній обробці після зварювання для зняття залишкових напружень і поліпшення структури металу. Для зварювання використовують електроди з основним покриттям або дріт, який забезпечує стійкий шов із мінімальною кількістю дефектів.

1.4 Обґрунтування вибору способу відновлювального наплавлення

Попередній аналіз джерел науково-технічної інформації уможливив позначення виділити кількох способів відновлювального наплавлення, застосування яких до нашого виробу найбільш раціонально:

- ручне дугове наплавлення штучними електродами,
- механізована наплавка серед захисних газів,
- наплавлення під флюсом,
- електрошлакова наплавка,
- наплавлення порошковим самозахисним дротом.

Обґрунтування вибору способу відновлювального наплавлення має бути виконане з урахуванням аналізу переваг кожного способу стосовно відновлення кранових коліс.

При виборі способу наплавлення слід керуватися «можливістю способу, що розглядається, забезпечити отримання наплавленого шару з необхідними властивостями (хімічний склад, механічні та експлуатаційні властивості), а також можливістю виправлення аналізованої величини зносу. На вибір способу наплавлення впливає продуктивність, конфігурація і розміри деталі, що відновлюється, частка основного металу в наплавленому шарі».

Ручна дугова наплавка, схема якої представлена на рисунку 1.4, «поширена при відновленні деталей машин завдяки своїм перевагам. Це найбільш універсальний спосіб, який може бути застосований для відновлення деталей різних форм та різних матеріалів. Ручне дугове наплавлення може виконуватися в різних просторових положеннях. Використовуються електроди діаметром 3-6 мм. Для того, щоб забезпечити мінімальне проплавлення та зберегти стійкість дуги, щільність струму має бути 11...12 А/мм. Ручне дугове наплавлення можна вести як звичайними електродами для дугового зварювання, так і спеціальними наплавними електродами.

Ручне дугове наплавлення здійснюється стандартним зварювальним обладнанням, спеціальної організації посту не потрібно. Процес наплавлення може бути розпочато практично відразу після розробки відповідної технології із застосуванням наявного на підприємстві обладнання.

У числі недоліків ручного дугового наплавлення слід відзначити, по-перше, низьку продуктивність. По-друге, ручне дугове наплавлення проходить за важких умов зварювальника, які пов'язані з підвищеною загазованістю робочої зони». По-третє, при ручному дуговому наплавленні складно отримати необхідну якість наплавленого шару, часто виникають дефекти наплавлення.

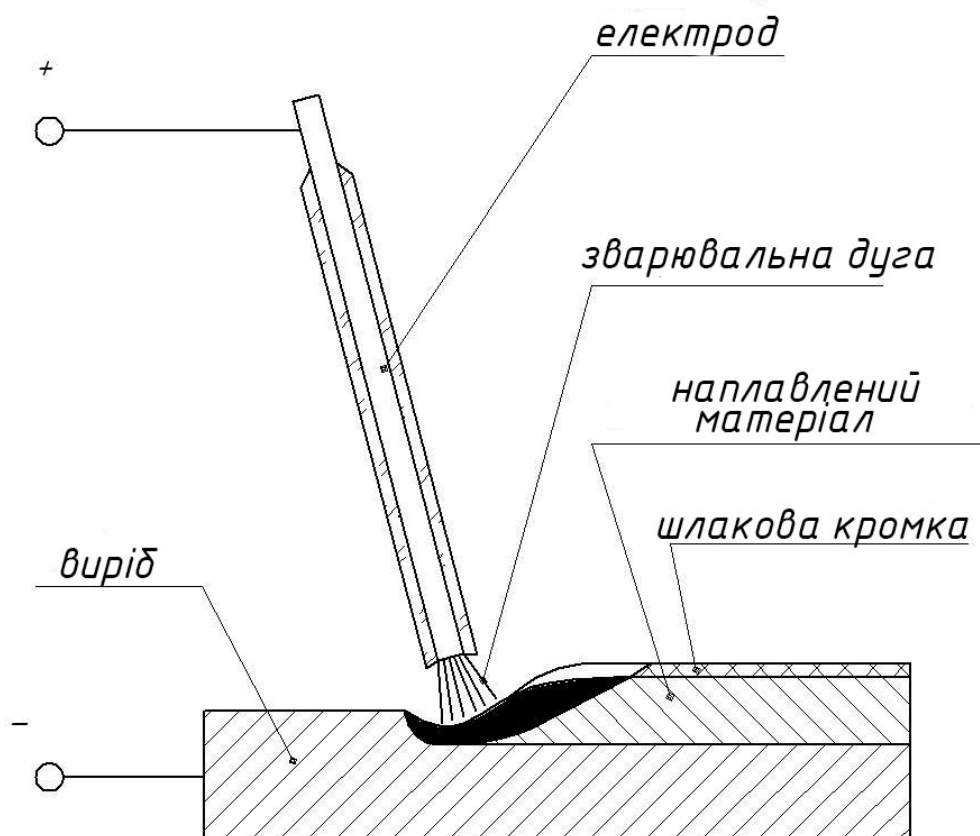


Рисунок 1.4 – Схема виконання ручного дугового наплавлення штучними електродами

Дугова наплавка в захисних газах дротом суцільного перерізу, схема виконання якої представлена рисунку 1.5, в даний час широко поширена при відновленні деталей машин. Цей спосіб продовжує вдосконалюватися, тому інформацію про досягнення наплавлення в захисних газах можна отримати з безлічі джерел.

Найбільшого поширення набула наплавка у вуглекислому газі із застосуванням плавиться електрода. Зазвичай для такого наплавлення застосовується постійний струм зворотної полярності. При використанні в якості захисного газу вуглекислоти відбувається окислення розплавленого металу, тому в дрот наплавки необхідно вводити розкислювачі (кремній і марганець).

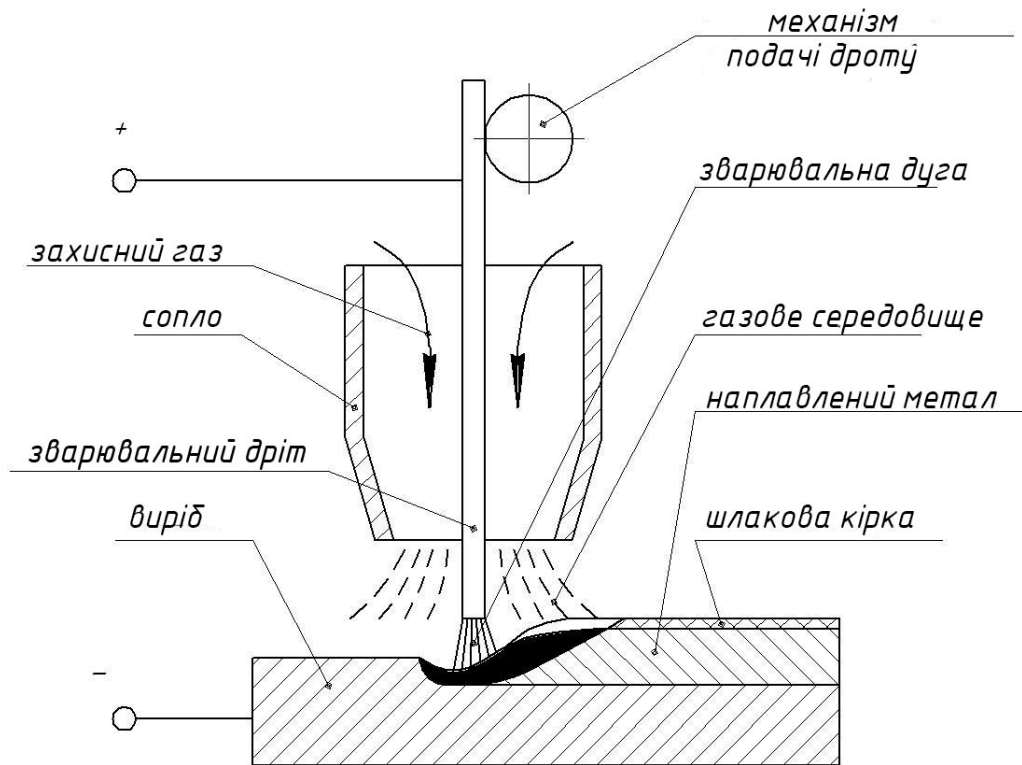


Рисунок 1.5 – Схема наплавлення електродом в захисному газі

Недоліком наплавлення у вуглекислому газі є сильне розбризування електродного металу. При цьому відбувається налипання бризок на поверхню виробу та мундштук зварювального пальника. Розбризування не дозволяє виконувати наплавлення на форсованих режимах, що суттєво знижує продуктивність наплавлення порівняно з потенційно можливою продуктивністю.

Дослідження у сфері підвищення ефективності наплавлення у захисних газах ведуться у напрямку розробки комп'ютеризованих електроприводів подачі наплавного дроту. Другим напрямом досліджень є управління горінням дуги та перенесенням електродного металу. Як третій напрям можна виділити розробку нових наплавочних матеріалів [8].

Підвищення ефективності механізованого та автоматичного наплавлення в середовищі захисних газів може бути отримано при здійсненні способу із застосуванням додаткової гарячої присадки, як показано на рисунку 1.6. При його здійсненні дуга горить на основному дроті, яка, плаваючи, формує аустенітний

підшар у зварювальній ванні. Додатковий гарячий присадний дріт подається з варильною ванною, формує двофазну структуру без гарячих тріщин.

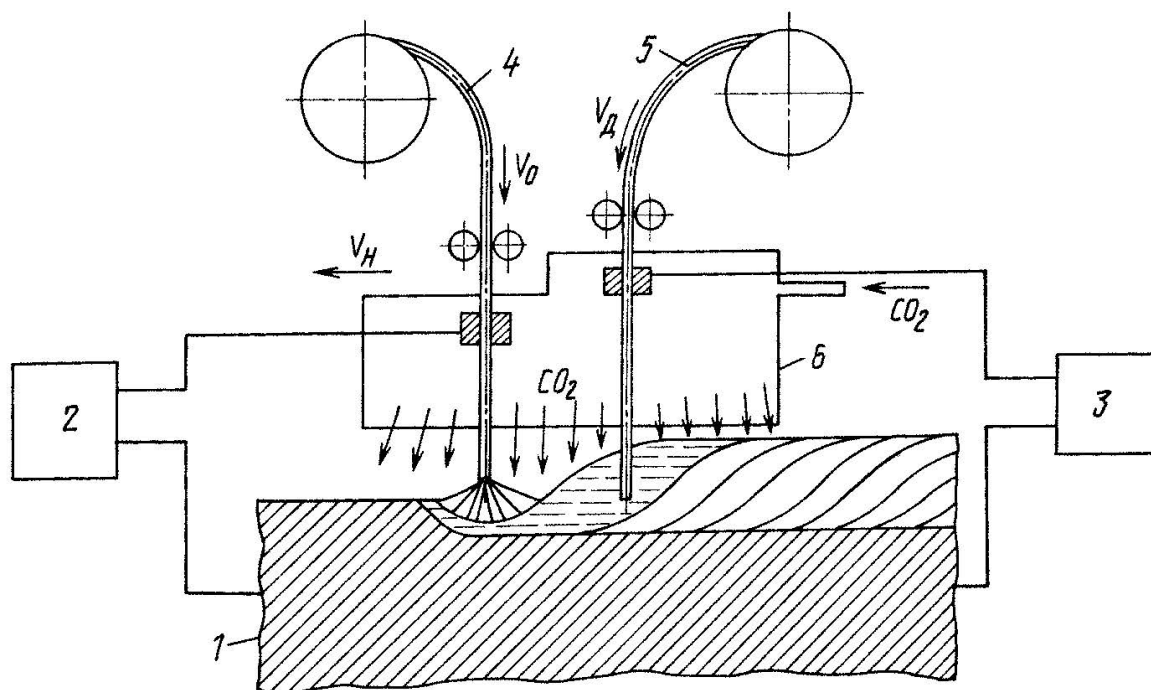


Рисунок 1.6 – Спосіб наплавлення з подачею додаткового гарячого дроту присадки

1 – виріб; 2 – джерело живлення основної дуги; 3 – джерело нагріву додаткового зварювального дроту; 4 – основний зварювальний дріт;
5 – додатковий зварювальний дріт

При наплавленні під флюсом, схема виконання якого представлена на рисунку 1.7, в результаті нагрівання від дуги, що горить між виробом і дротом зварювальної дуги утворюється ванна розплавленого металу, яка захищається шаром шлаку (розплавленого флюсу). Цей шар не тільки забезпечує газовий захист розплавленого та перегрітого металу від впливу повітря, а й усуває розбрикування, підвищує ефективність нагрівання металу від зварювальної дуги.

Наплавлення під флюсом має високу продуктивність і мінімальний коефіцієнт втрат електродного металу. Крім того, оскільки дуга, що горить, закрита шаром флюсу, не потрібно застосування будь-яких заходів щодо захисту персоналу від світлового і теплового випромінювання дуги.

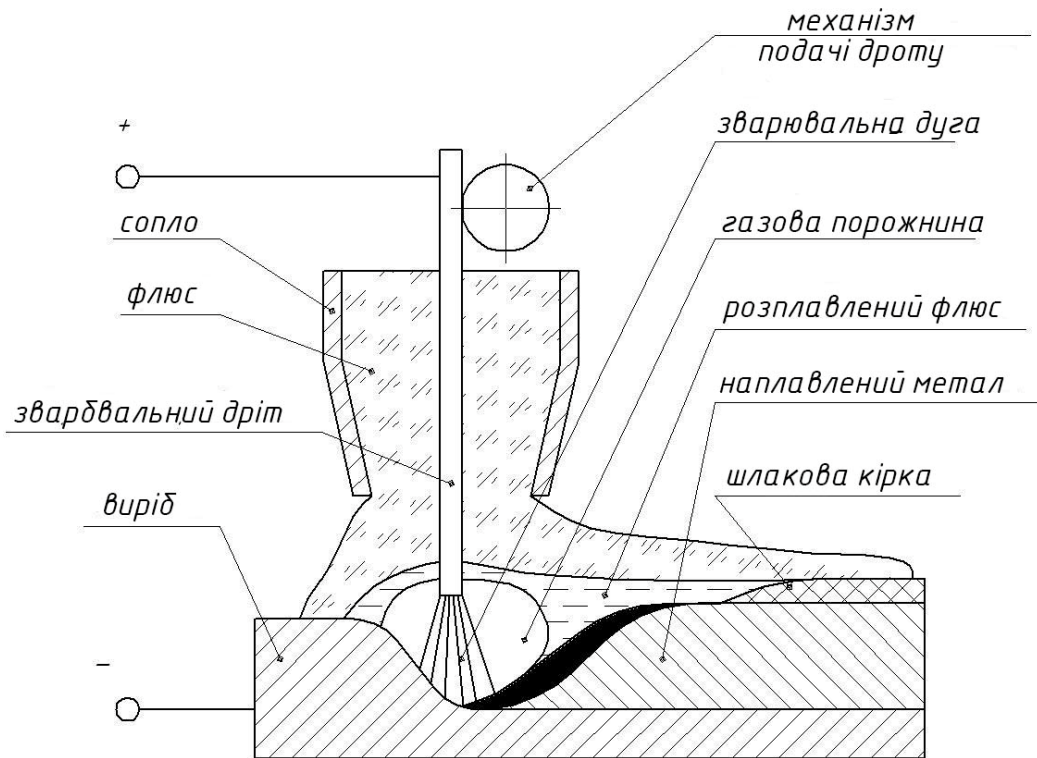


Рисунок 1.7 – Схема наплавлення під флюсом

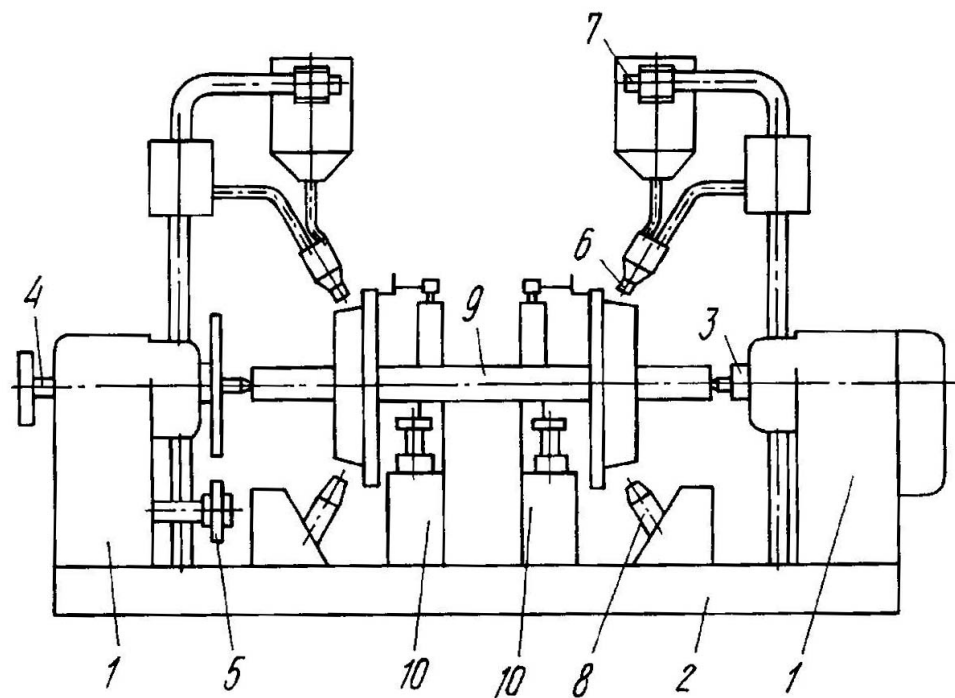


Рисунок 1.8 – Установка для наплавлення гребенів коліс
 1 – стійка; 2 – станина; 3 – центри обертача; 4 – піноль; 5 – привід;
 6 – автомат дугового зварювання; 7 – бункер для флюсу;
 8 – джерело, що підігріває; 9 – колісна пара; 10 – підйомник

Автоматична наплавка під флюсом знайшла застосування при відновленні колісних пар залізничного складу [], за такою ж технологією можуть бути відновлені відновлені кранові колеса. Наплавлення здійснюють за допомогою установки, показаної на рисунку 1.8.

При електрошлаковій наплавці, схема виконання якої представлена на малюнку 9, протікання зварювального струму відбувається по електроду, рідкому шлаку та основному металу. При цьому плавиться основний та присадковий матеріали. Через меншу щільність, ніж у розплавленого металу, розплавлений шлак спливає вгору зварювальної ванни. Таким чином, забезпечується захист розплавленого металу зварювальної ванни від навколишнього середовища. При русі через шлак краплі розплавленого електродного металу очищаються від шкідливих домішок і легуються.

Електрошлакове наплавлення відбувається за наступною схемою, представленою на рисунку 1.9.

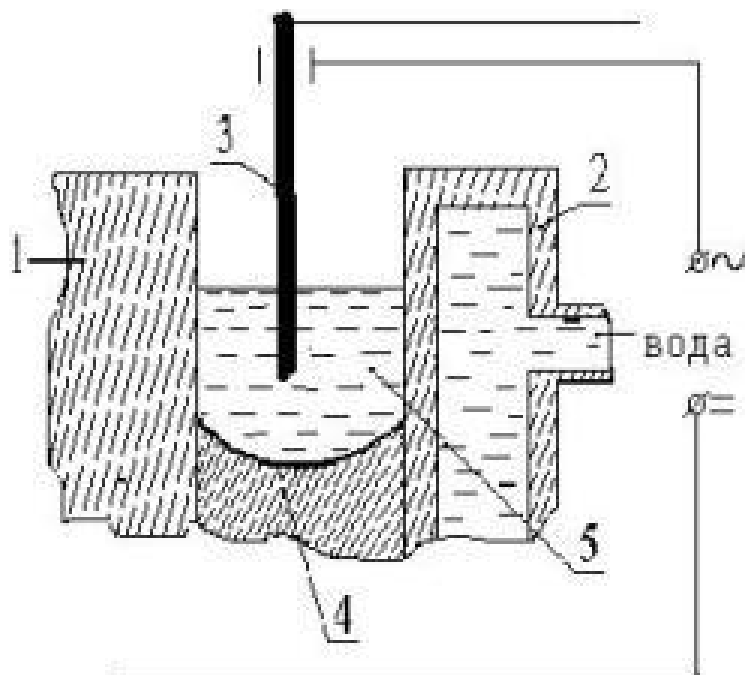


Рисунок 1.9 – Схема виконання електрошлакового наплавлення

1 – поверхня, що наплавляється, 2 – кристалізатор,
3 – присадковий матеріал, 4 – наплавлений метал, 5 – рідкий шлак

Між поверхнею, що наплавляється 1 і кристалізатором 2 є порожнину, в яку подають наплавочний електрод 3. При проходженні струму через електрод 3, рідкий шлак 5 і наплавлений метал 4 відбувається нагрівання шлаку до високих температур (кілька тисяч °С) і плавлення подається в шлак 3 присад. оплавляє кромки виробу. Присадний дріт 3 плавиться, її краплі проходять через розплавлений шлак і кристалізуються на дні шлакової ванни на поверхні, що наплавляється 4.

Наплавлення самозахисними порошковими дротами виконується за схемою, представленою на рисунку 1.10, поєднує в собі переваги ручного дугового наплавлення та наплавлення в захисних газах. Застосування самозахисного порошкового дроту дозволяє відмовитися від використання газової апаратури (редуктори, змішувачі газів, балони, осушувачі, шланги), які значною мірою знижують мобільність зварювальника []

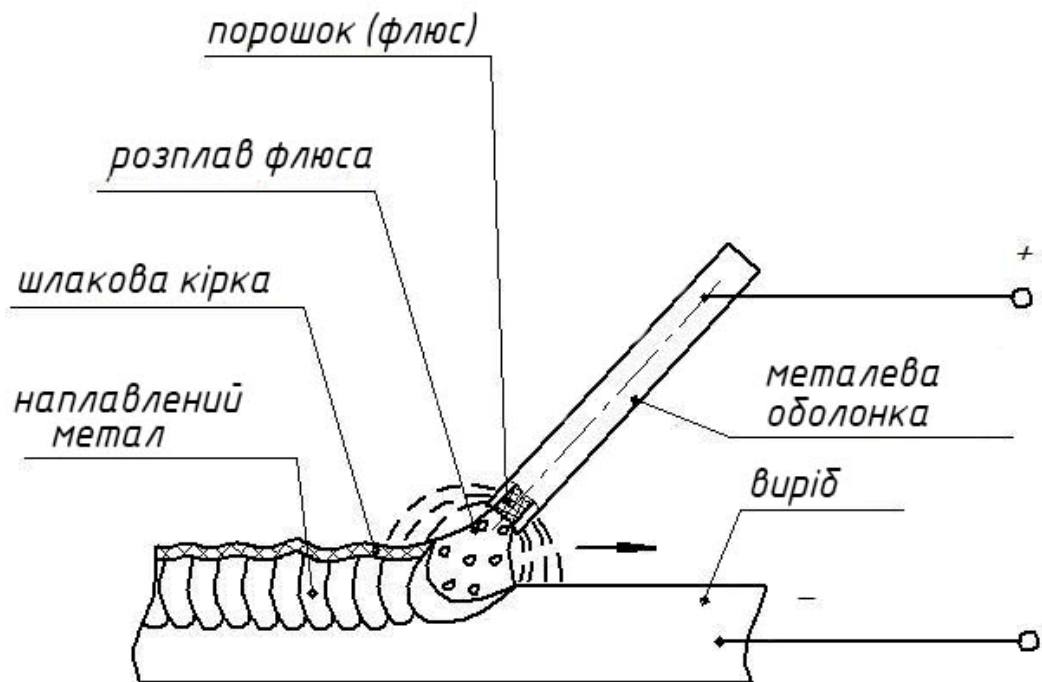


Рисунок 1.10 – Схема здійснення зварювання самозахисним порошковим дротом

Недоліками наплавлення самозахисним порошковим дротом є:

- необхідність видалення шлакової кірки з поверхні шва;
- висока вартість порошкового дроту;
- сильне пороутворення та можливість отримання дефектів у вигляді пір та шлакових включень;
- необхідність боротьби із заломами зварювального дроту через його зайву м'якість;
- нерівномірне плавлення оболонки та серцевини зварювального дроту.

На підставі проведеного аналізу переваг і недоліків кожного способу як спосіб для побудови проектної технології відновлювального наплавлення кранових коліс рекомендуємо автоматичне наплавлення під флюсом.

1.5 Постановка задачі

Справжня випускна кваліфікаційна робота присвячена підвищенню ефективності відновлювального наплавлення кранових коліс. Короткий аналіз стану питання, виконаний у вступі, дозволив сформулювати мету випускної кваліфікаційної роботи. Поставлена мета – відновлення кранових коліс за рахунок впровадження технологій наплавлення.

Проведений аналіз можливих способів відновлювального наплавлення кранових коліс передбачає розгляд переваг та недоліків наступних способів:

- ручне дугове наплавлення із застосуванням штучних електродів,
- механізована наплавка серед захисних газів із застосуванням дроту суцільного перерізу,
- наплавлення під флюсом,
- електрошлакова наплавка,
- механізоване та автоматичне наплавлення порошковим самозахисним дротом.

Розгляд переваг і недоліків кожного з розглянутих способів відновлювального наплавлення кранових коліс дозволило вибрати спосіб для побудови проектної технології. Прийнято рішення побудову проектної технології

відновлювального наплавлення виконувати на базі автоматичного наплавлення під флюсом.

На підставі вищевикладеного для досягнення мети дипломної роботи потрібно вирішити наступні задачі дослідження:

- 1) виконати функціонально-вартісний аналіз елементів велосипедного крану;
- 2) за допомогою інженерних розрахунків знайти діючі навантаження на колесо велосипедного крану;
- 3) виконати 3D моделювання колеса крану у САПР Autodesk Fusion 360;
- 4) виконати напружено-деформований аналіз (НДС) методом скінченних елементів;
- 5) запропонувати технологію відновлювального наплавлення колеса велосипедного крану;
- 6) запропонувати обладнання для автоматичного наплавлення під флюсом;
- 7) запропонувати методи сертифікації та контролю якості виробу.

РОЗДІЛ 2. ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА РОЗРОБКИ

2.1 Функціонально-вартісний аналіз

Одним із шляхів вдосконалення будь-якого об'єкта на всіх етапах його життєвого циклу є функціонально-вартісний аналіз.

Функціонально-вартісний аналіз – це метод комплексного техніко-економічного дослідження об'єкта з метою розвитку його корисної функції в оптимальному співвідношенні між її значимістю для споживачів і вартістю її реалізації.

Традиційно вартість продукту пов'язана з елементами продукту. Однак витрати на елементи продукту не можна порівнювати з оцінкою з погляду споживача, оскільки вони мислять не з погляду елементів продукту, а з погляду потреб (вимог), або ефектів (функцій). Для оцінки якості продукту з погляду користі, або важливості необхідний перехід до розбивки витрат на функції.

Витрати, що виникають під час реалізації функції продукту, відомі тільки в тому разі, якщо вони заздалегідь розділені таким чином. Це дає змогу оцінити співвідношення витрат і вигод функції продукту та потенціал її поліпшення.

Під час функціонально-вартісного аналізу можуть бути опрацьовані такі запитання:

- 1) Які функції є занадто дорогими з погляду важливості та вигоди застосування з погляду замовника? (Де зберегти?)
- 2) Які функції можна зробити дорожчими, не ставлячи під загрозу співвідношення ціна/якість? (Куди інвестувати?)

Розподіляючи витрати за функціями продукту, а не за елементами продукту, ми отримуємо нове розуміння структури продукту. Таким чином, вигода від функції (вимірювана за допомогою ваги споживача, або ступеня виконання цієї функції) може бути безпосередньо пов'язана зі споживанням ресурсів, що

передбачає реалізація функції. Ці знання є основою для редизайну продукту, заснованого на цінності.

Функціональні витрати являють собою очікувані або реальні загальні витрати (споживання ресурсів) на реалізацію функції продукту, сума всіх функціональних витрат, своєю чергою, ідентична загальній вартості продукту.

Дані про витрати зазвичай доступні тільки для деталей або збірок продукту, але не для функцій. Частка вартості кожного елемента продукту в реалізації функцій продукту може бути систематично розроблена за допомогою матриці функціональних витрат. Для цього до рядків вносяться елементи продукту та їхня вартість, а до стовпців матриці - функції, а вміст поля заповнюється пропорційними значеннями елементів під час реалізації функцій. Потім можна розрахувати функціональні витрати з використанням вартості і відповідних витрат на елементи продукту [7].

Для функціонального аналізу розглянемо стрілу телескопічного навантажувача. В таблиці 2.1 наведені основні компоненти стріли, функції, які вони виконують, а також їх відносна вартість і важливість, в останньому стовпчику завдяки діленню відносної важливості на ціну знаходиться ефективність кожної складової частини досліджуваного об'єкта.

Таблиця 2.1 – Функціональний аналіз велосипедного крану

Рівень функції	Функція	Призначення	Можливі механізми / вузли
Основна функція	Переміщення вантажу	Переміщення вантажу в горизонтальній і вертикальній площинах	Каркас крана, велосипедний привід, рейковий шлях, підйомний механізм
Підфункція	Підхоплення вантажу	Захоплення вантажу за допомогою гака або іншого захоплювального пристрою	Гак, стропи, захоплювачі
Підфункція	Утримання вантажу	Забезпечення збереження вантажу в піднятому положенні	Храповий механізм, стопор, гальмо барабана
Підфункція	Підйом вантажу	Виконання підйому через ланцюгову або канатну передачу	Барабан із канатом або ланцюгом, редуктор, педальний привід
Підфункція	Опускання вантажу	Кероване опускання вантажу	Гальмівна система, реверсивний привід

Підфункція	Переміщення крана вздовж рейкового шляху	Переміщення конструкції крана по рейках за допомогою приводу	Колеса на осях, ланцюгова або зубчата передача від педалей до коліс
Підфункція	Управління рухом крана	Керування напрямком і швидкістю руху	Ручки керування, регулятор натягу ланцюга, фрикційна муфта
Підфункція	Забезпечення безпеки	Гальмування та фіксація рухомих частин для запобігання аваріям	Гальмо на колеса, гальмо підйомного механізму, обмежувач підйому

Таблиця 2.2 – Функціональний аналіз механізму переміщення крана вздовж рейкового шляху


Функція	Призначення	Можливі механізми / вузли	Важливість	Ціна	Ефективність
Створення зусилля для обертання коліс	Формування зусилля для руху крана по рейках	Велосипедний педальний привід, рукоятки ручного приводу	40%	30%	1,3
Передача зусилля на колеса	Передача обертального моменту від приводу на ходові колеса	Ланцюгова або зубчата передача, шестерні, вали	20%	20%	1,0
Напрявлення руху	Забезпечення руху крана строго по рейковому шляху	Ведучі і ведені колеса, напрямні ролики, рама крана	20%	30%	0,66
Гальмування та зупинка	Контрольоване уповільнення й фіксація крана на рейках	Механічне гальмо (колодкове або дискове), стопорні механізми	10%	10%	1,0
Регулювання швидкості руху	Забезпечення плавного або вибіркового регулювання швидкості	Фрикційна муфта, перемикач передач (якщо передбачено конструкцією)	10%	10%	1,0
			100%	100%	

Проаналізувавши можемо сказати, що ведучі і ведені колеса, напрямні ролики, рама крана мають зовнішню вартість, по цій причині ефективність цього механізму має найменший показник - 0,66. Щоб збільшити ефективність цього елемента потрібно зменшити його ціну, а це можливо зробити завдяки збільшенню терміну його використання.

2.2 Моделювання об'єкта розробки

Для створення 3д-моделі об'єкта була обрана САПР Autodesk Fusion 360. Перший крок моделювання – це створення ескізу виробу. Розміри необхідні для ескізу ми можемо взяти з кресленика на рисунку 1.3.

На ескізі побудуємо профіль колеса велосипедного крану в розрізі з однієї сторони від осі та відобразимо вісь (рисунок 2.1).

Для того щоб задати об'єм деталі скористаємося командою для видавлювання з обертанням на панелі Solid > Create > Revolve . В цій команді обираємо профіль, напрямок та обертання на 360 градусів. (рисунок 2.2).

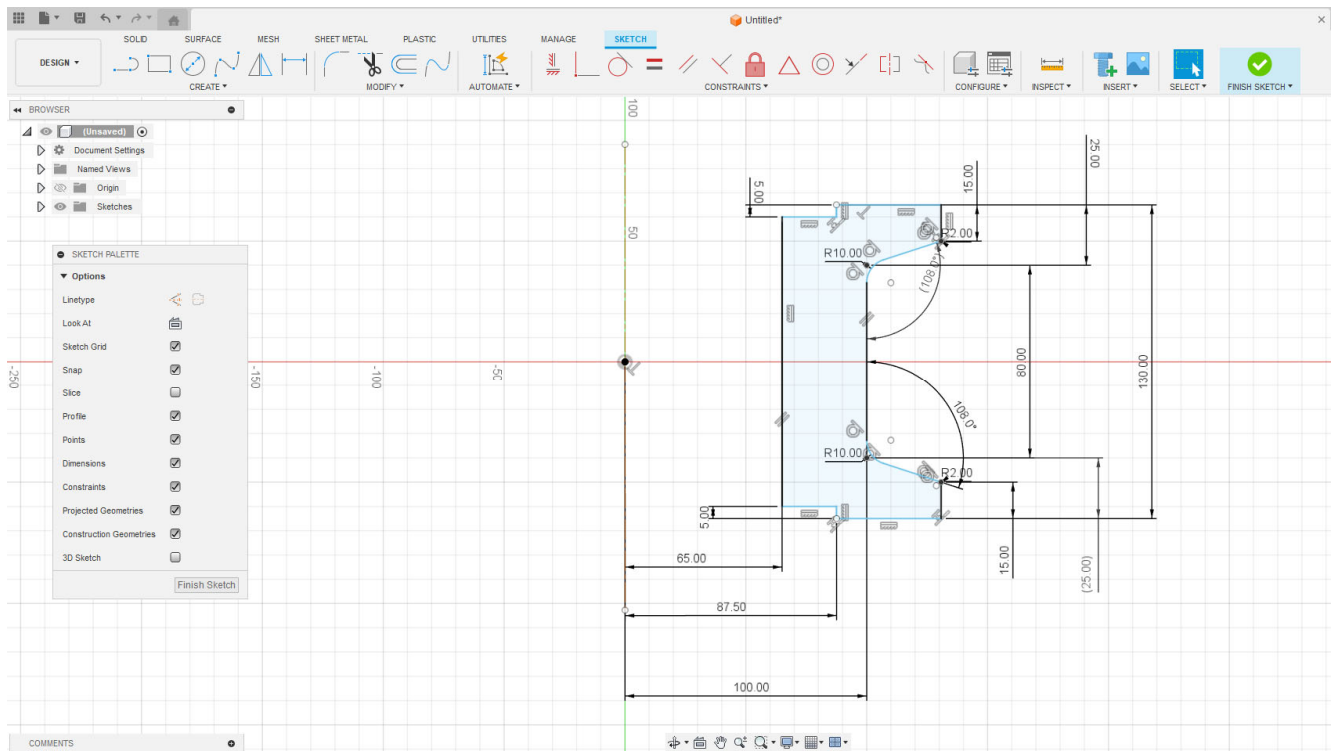


Рисунок 2.1 – Створення ескізу

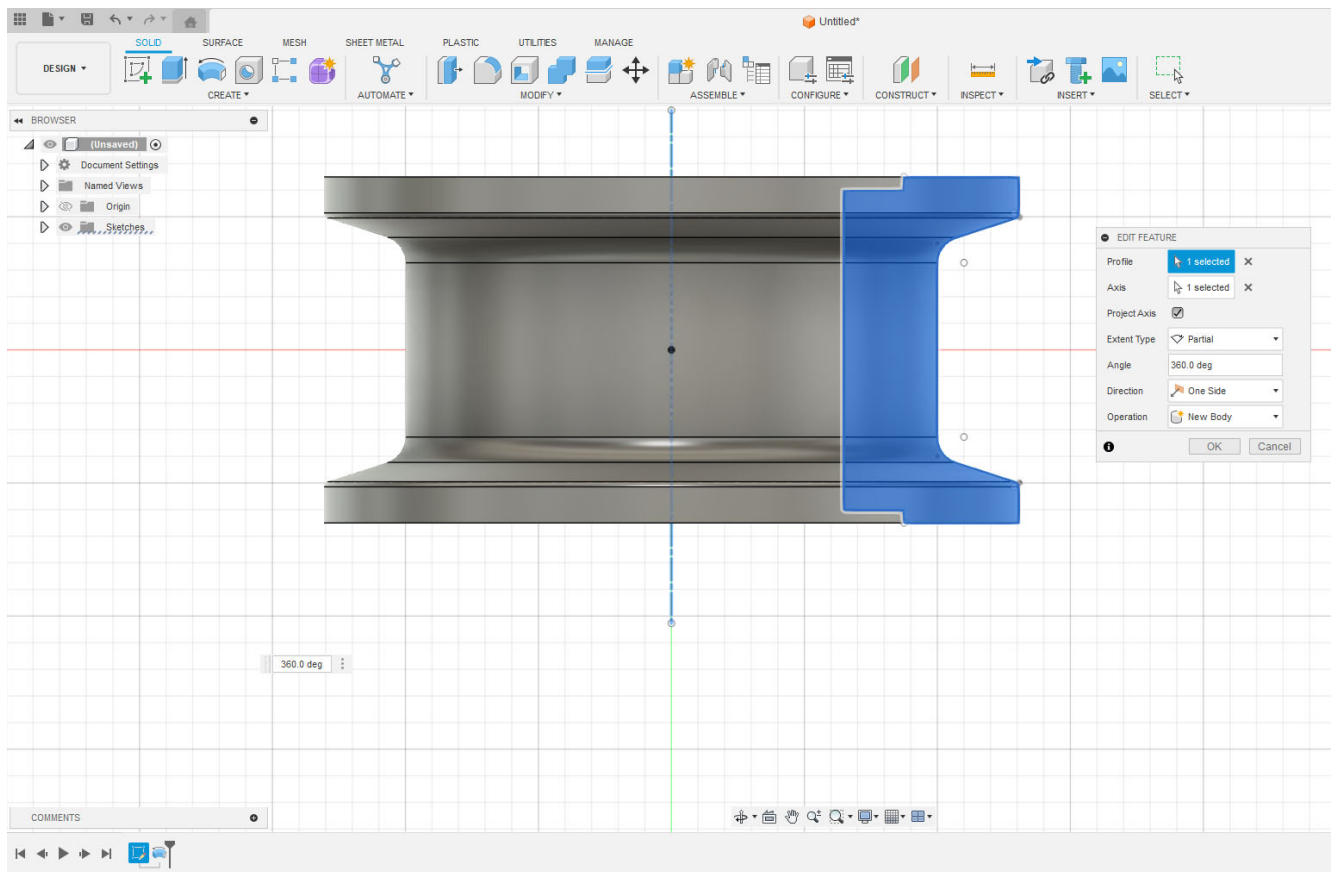



Рисунок 2.2 – Створення тривимірної деталі методом обертання

Наступним кроком необхідно задати фаски та округлення, які не було відображено в початковому ескізі колеса велосипедного крану. Для цього скористаємось командою Design > Solid > Modify > Chamfer . На рисунку 2.3 показано 3D модель колеса крану з фасками та діалогове вікно команди Chamfer.

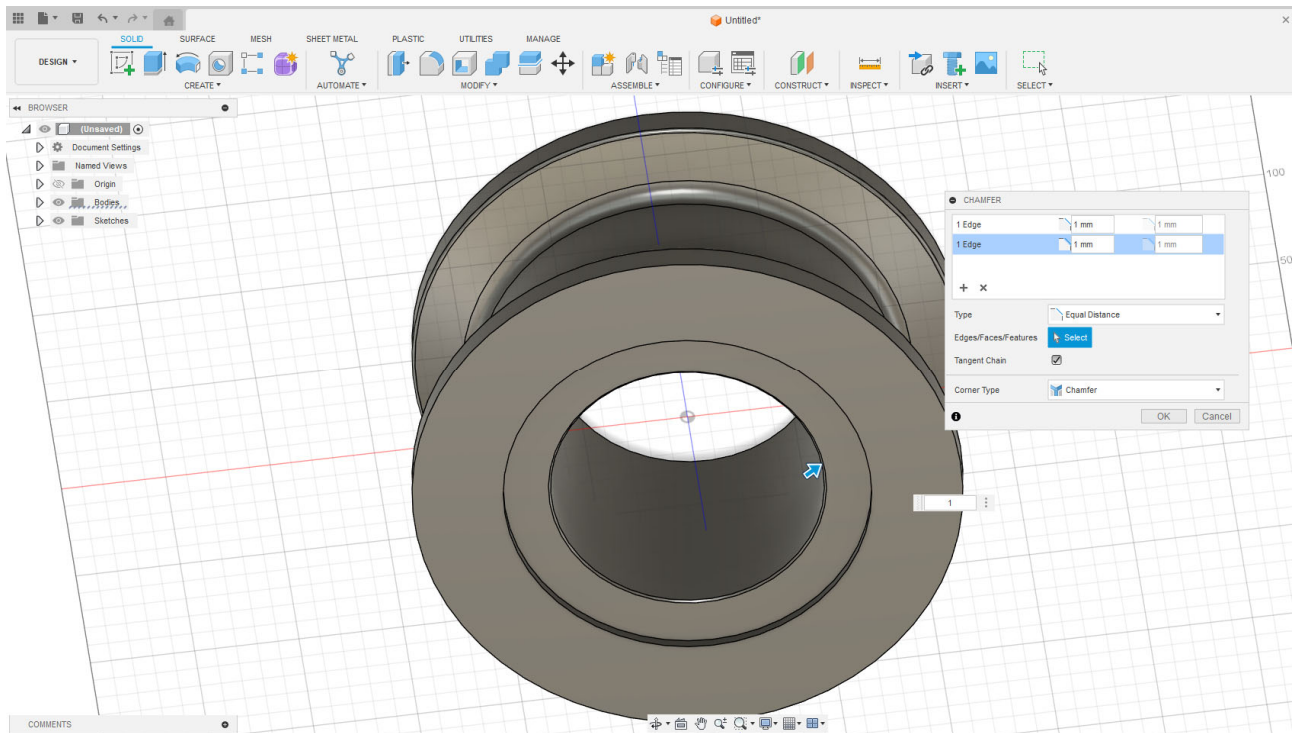



Рисунок 2.3 – Використання команди Chamfer та додавання фасок

Наступним кроком в моделюванні колеса велосипедного крана було створення бічних отворів, спочатку, за допомогою команди кругового масиву, було створено допоміжний ескіз з 6 точками для розташування центрів різбових отворів (рисунок 2.4). Далі за точками вказаними на ескізі, за допомогою команди додавання отворів Hole  створені бокові різбові отвори. Результат моделювання та діалогове вікно команди Hole представлено на рисунку 2.5

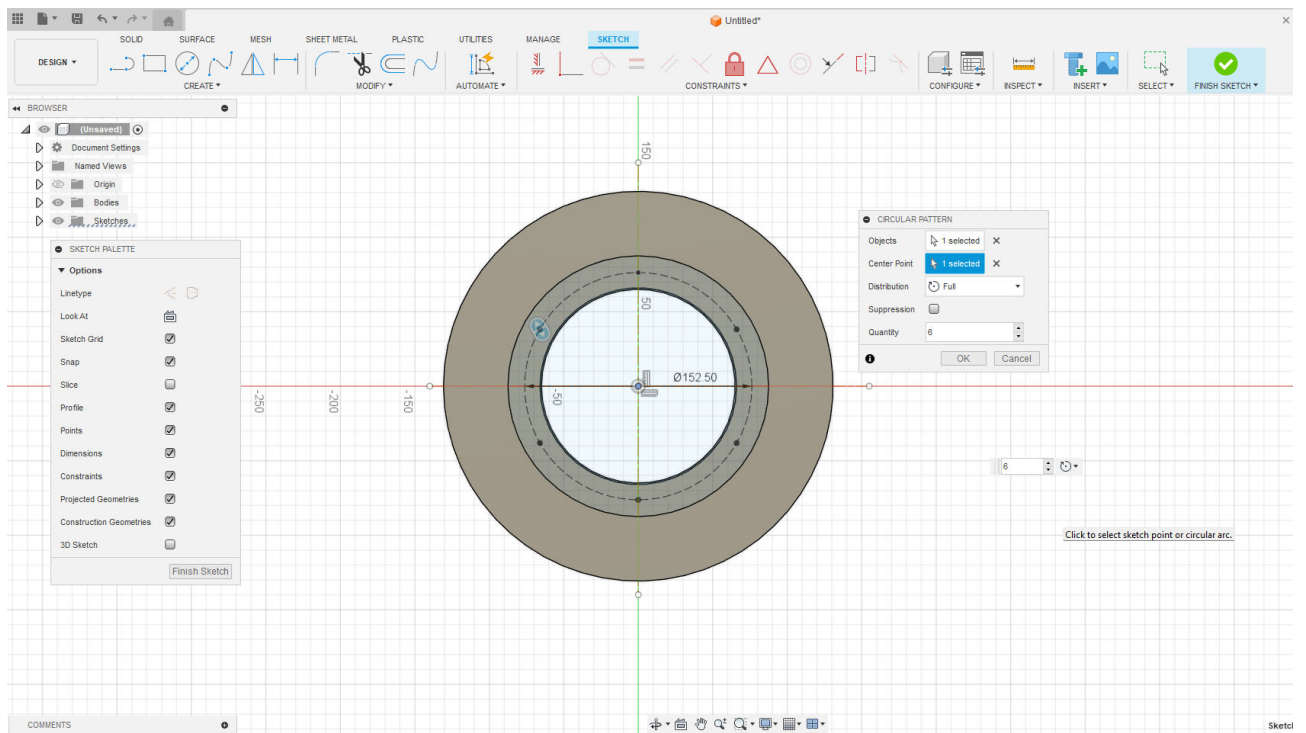


Рисунок 2.4 – Ескіз з 6 точками для розташування центрів різьбових отворів

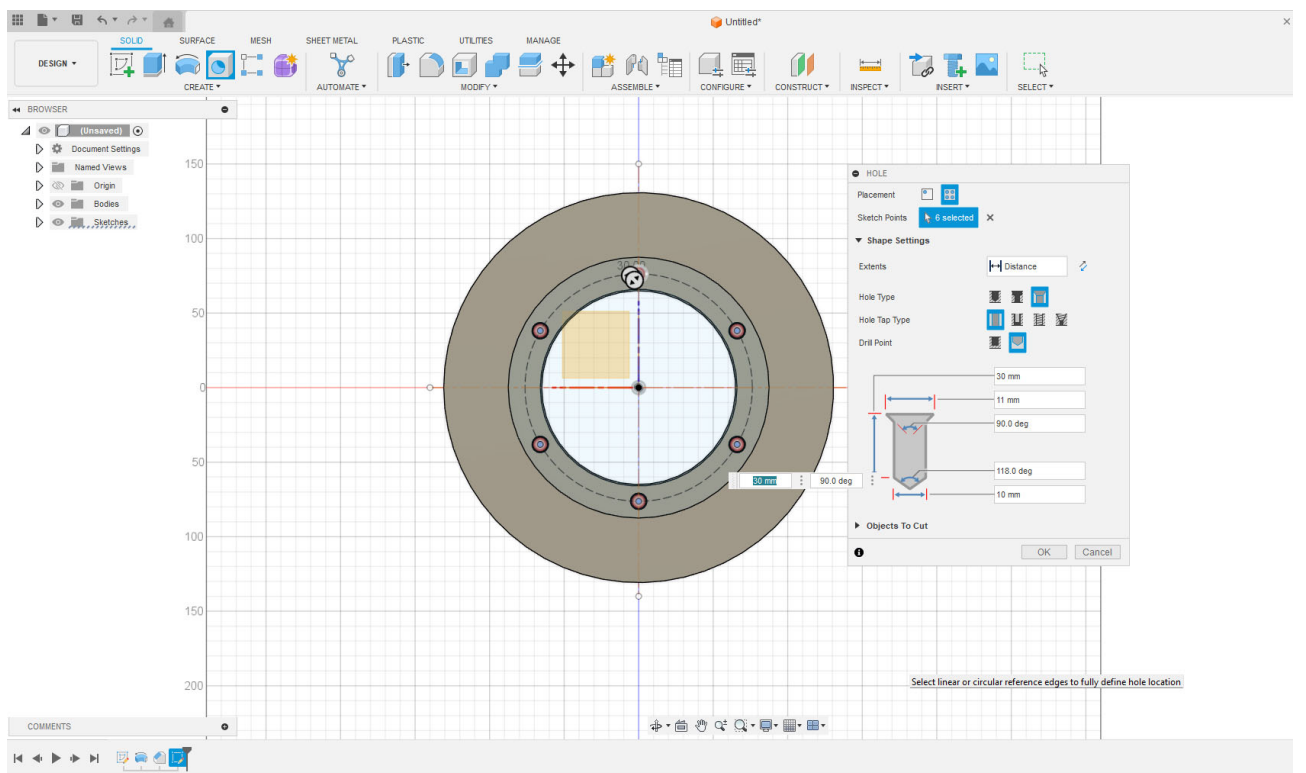



Рисунок 2.5 – Моделювання отворів та діалогове вікно команди Hole

Далі за допомогою команди «Mirror (Зеркало)» в робочій області «Design» на вкладці Solid виберемо команду Create > Mirror . Результат моделювання та

вікна вибору операцій для віддзеркалювання а також вибір поверхні для завдання симетрії команди представлені на рисунках 2.6 та 2.7.

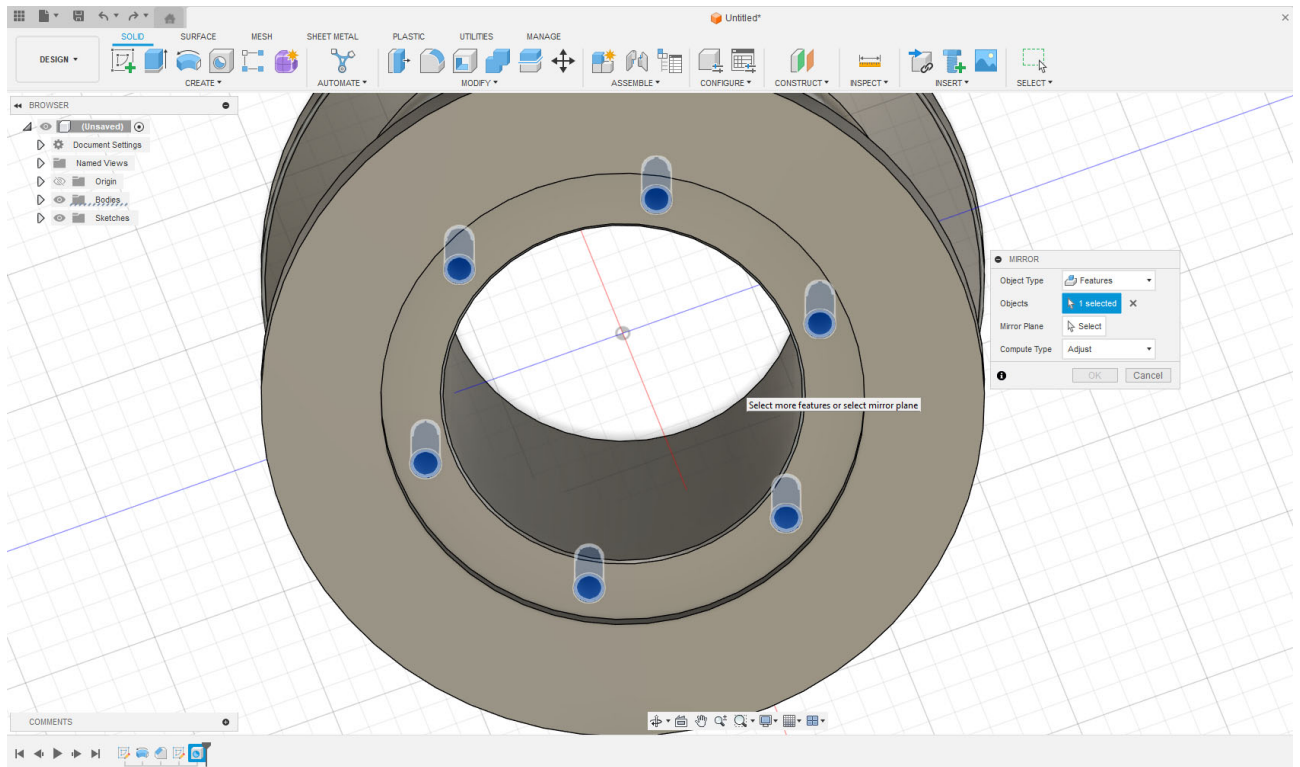


Рисунок 2.6 – Вибір операцій для віддзеркалювання

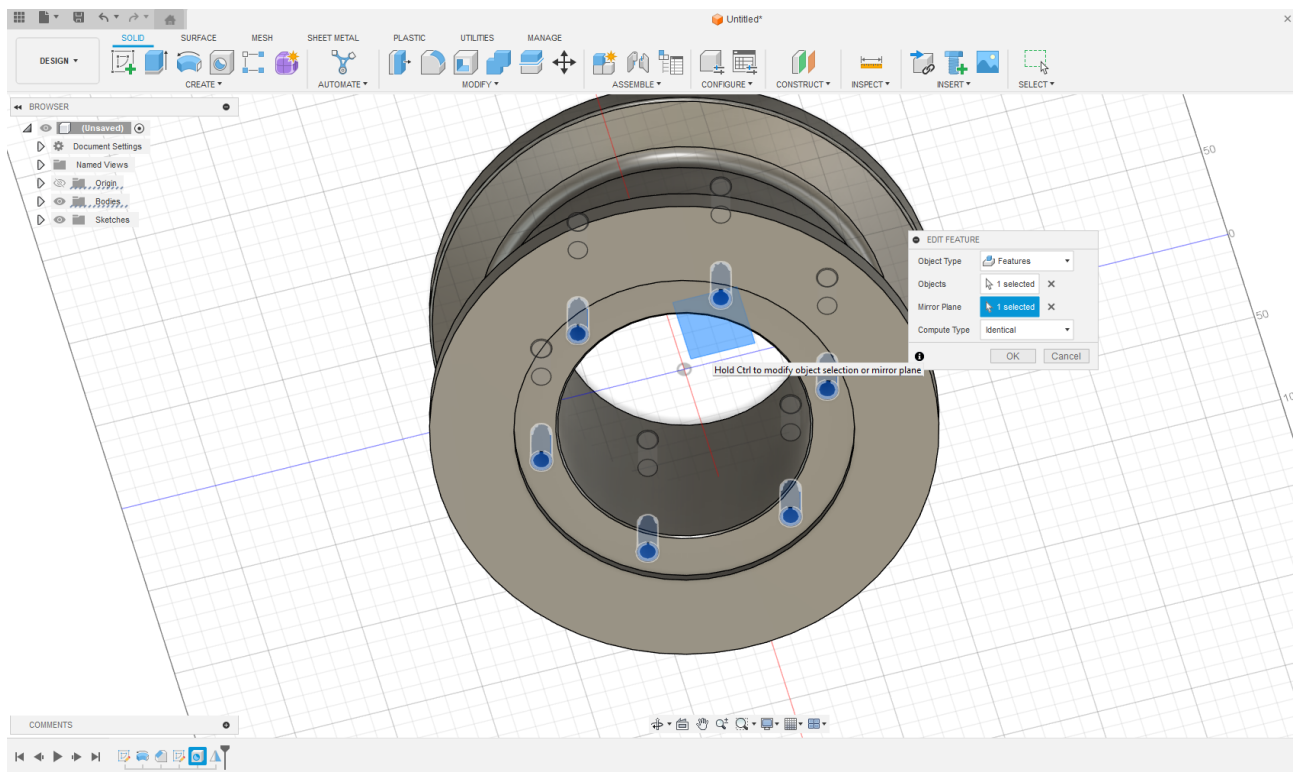


Рисунок 2.7 – Вибір поверхні для завдання симетрії команди Mirror

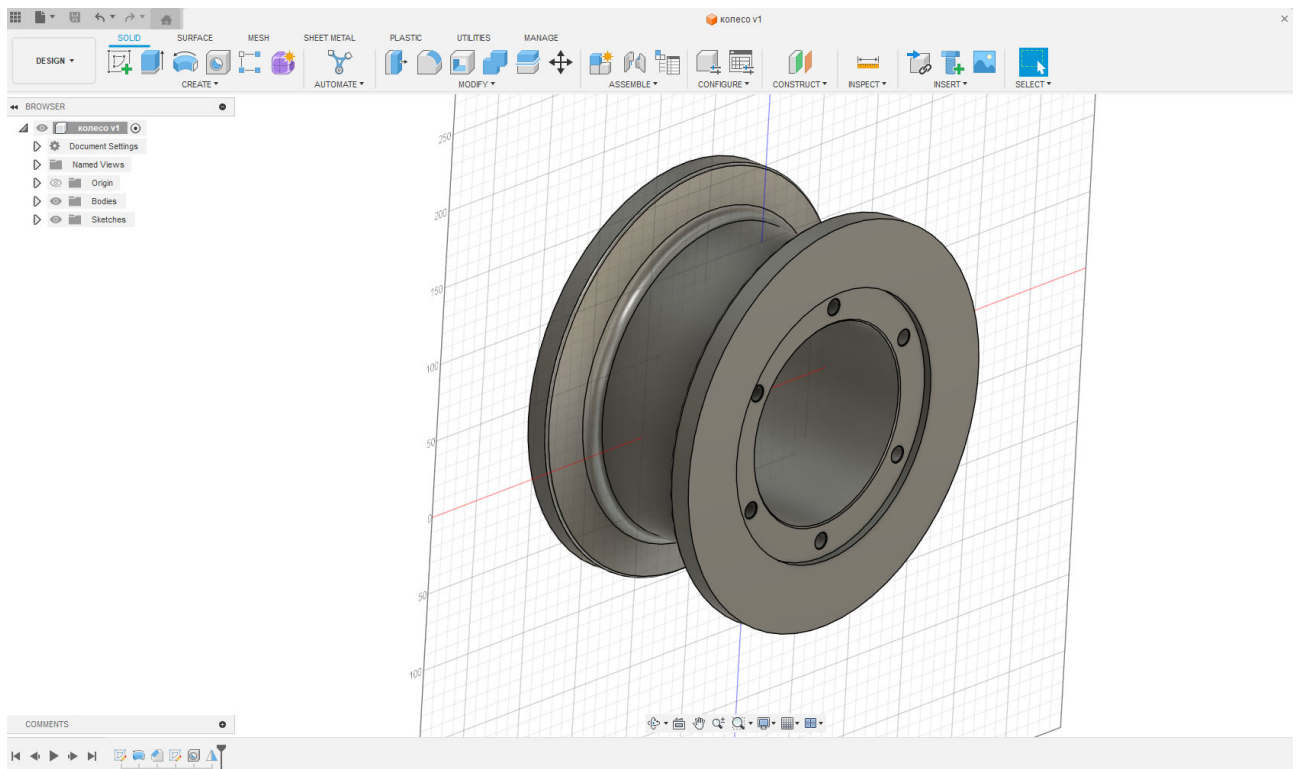


Рисунок 2.8 – 3д-модель колеса велосипедного крану

Після всіх виконаних дій отримуємо готову 3д-модель колеса велосипедного крану.

2.3 Аналіз навантаження існуючої розробки і обґрунтування вихідних параметрів для аналізу напружено-деформованого стану

Контактна напруга – механічні напруги, що виникають при механічній взаємодії твердих деформованих тіл на майданчиках їх дотику та поблизу майданчиків (напр., при стисканні дотичних тіл). Знання К. н. важливо для розрахунку на міцність підшипників, зубчастих і черв'якових передач, кулькових і циліндричних котків, кулачкових механізмів і т. п. Визначення контактних напруг складає задачу, названу контактною.

Вирішення деяких контактних завдань для пружних тіл вперше дано Г. Герцем (G. Hertz). В основу його теорії контактних напруг покладено наступні припущення:

- матеріал дотичних тіл у зоні контакту однорідний і слідує закону Гука;
- лінійні розміри майданчика контакту малі порівняно з радіусом кривизни і лінійними розмірами поверхонь, що стикаються, в околиці точок контакту;
- сили тертя між тілами, що стикаються, зневажливо малі.

При цьому знайдено, що при стисканні двох тіл, обмежених плавними поверхнями, майданчик контакту має форму еліпса (зокрема, кола або смужки), а інтенсивність розподілу Дo. н. по цьому майданчику слідує еліпсоїдальний закон.

Схема розподілу навантаження на майданчику контакту при відсутності обертаючого моменту наведено на рисунку 2.9.

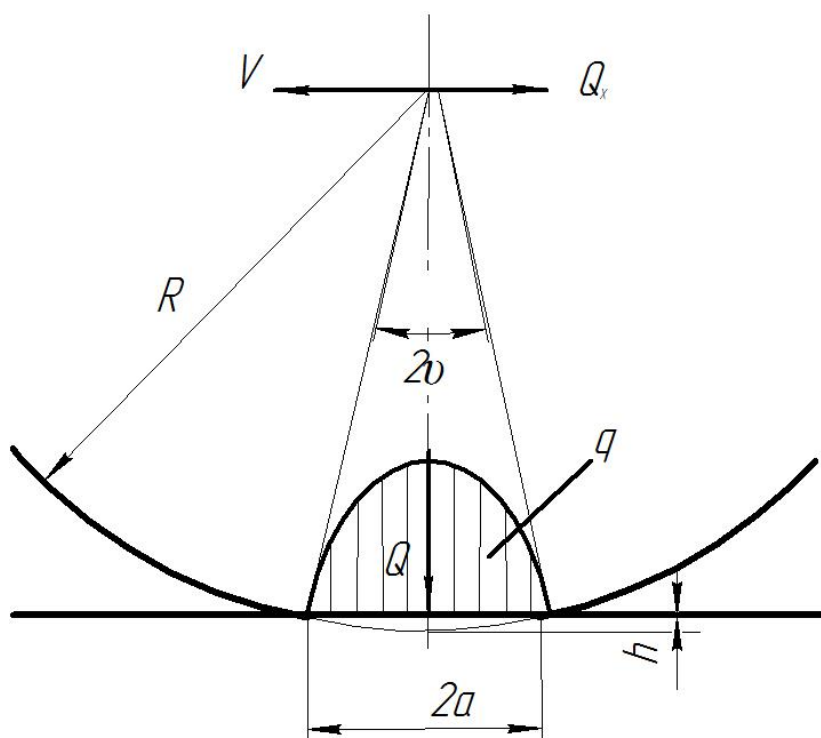


Рисунок 2.9 – Розрахункова схема для визначення навантажень при контакті колеса і рейки для випадку вільного кочення

Контактна напруга мають місцевий характер, тобто швидко зменшуються при достатньому віддаленні від місця контакту (дотикання тіл). Розподіл контактної напруги по майданчику контакту та її околиці нерівномірно і характеризується великими градієнтами. Важливою особливістю розподілу контактної напруги

(напр., при стисканні куль або циліндрів, що перетинаються) є те, що макс, дотичні напруги $\tau_{\text{макс}}$ які в значній мірі визначають міцність стисливих тіл, що мають місце на деякій глибині під майданчиком контакту. Поблизу самої цієї площадки напружений стан близький до гідростатичного стиску, при якому, як відомо, дотичні напруги відсутні.

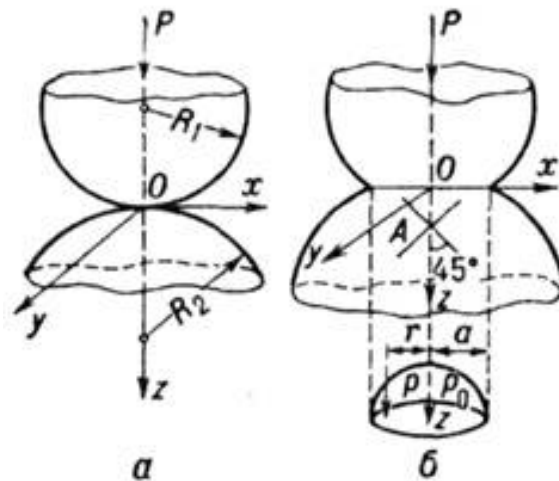


Рисунок 2.10 – Виникнення контактної напруги при зіткненні куль.

Дотик куль (рис. 1); площадка контакту має форму кола радіуса a , на якому діє тиск з інтенсивністю $p(r)$:

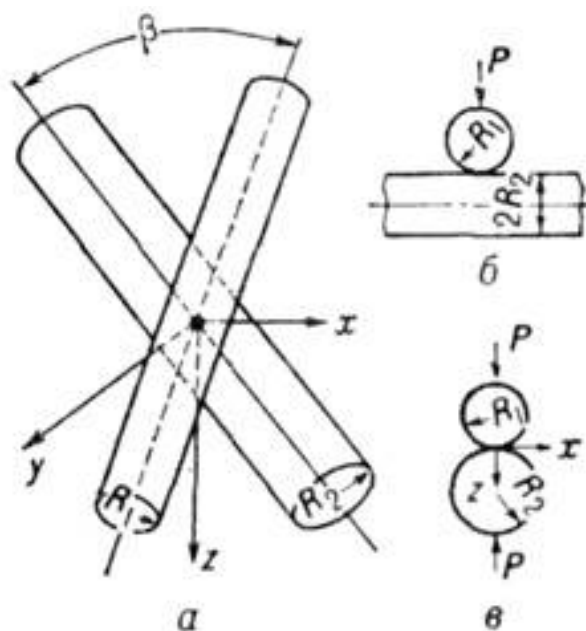


Рисунок 2.11 – Виникнення контактної напруги при зіткненні циліндрів.

Дотик куль (рис. 2.10); площадка контакту має форму кола радіусу a , на якому діє тиск з інтенсивністю $p(r)$:

$$p(r) = p_0 \sqrt{1 - r^2/a^2}; r^2 = x^2 + y^2 \quad (2.1)$$

де

$$p_0 = \frac{3P}{2\pi a^2} \quad (2.2)$$

$$a = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{6 P R_1 R_2}{R_1 + R_2} * \left(\frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right)} \quad (2.3)$$

де E_i ($i = 1,2$) – модуль Юнга матеріалу колеса та рейки,

μ_1, μ_2 – коефіцієнти Пуассона,

P – рівнодіюча сил,

R_1, R_2 – Радіуси кривизни дотичних поверхонь.

Найбільші стискаючі контактні напруги діють у центрі майданчика і рівні $\sigma_z = -p_0$, а між напругами $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ у центрі майданчика контакту існує залежність $\sigma_x = \sigma_y = (1 + 2\mu)\sigma_z/2$.

Для заданих параметрів $R_1 = R_2 = R$ однакових матеріалів пари вал-колесо $\mu_1 = \mu_2 = 0,3$ і умов експлуатації означимо напівширину плями контакту.

Дотик двох циліндрів (рис. 2,11), осі яких утворюють кут β ($0 < \beta \leq 0,5\pi$) майданчик контакту - еліпс; Інтенсивність розподілу тиску на цьому майданчику визначається формулою.

$$p(x, y) = q_0 \sqrt{1 - \frac{x^2}{b^2} - \frac{y^2}{b^2(1 - e^2)}} \quad (2.4)$$

де

$$q_0 = \frac{3P}{2\pi b^2 \sqrt{1 - e^2}} \quad (2.5)$$

$$b = \sqrt{\frac{3}{2\pi} \frac{PE(e)}{(M + N)(1 - e^2)} \left(\frac{1 - v_1^2}{E_1} + \frac{1 - v_2^2}{E_2} \right)} \quad (2.6)$$

Ексцентриситет еліпса e визначається із співвідношення

$$\frac{M}{N} = \frac{(1 - e^2)(K(e) - E(e))}{E(e) - (1 - e^2)K(e)} \quad (2.7)$$

де

$$M = \frac{1}{2} \left(\frac{\sin^2 \beta_1}{R_1} + \frac{\sin^2(\beta + \beta_1)}{R_2} \right) \quad (2.8)$$

$$N = \frac{1}{2} \left(\frac{\cos^2 \beta_1}{R_1} + \frac{\cos^2(\beta + \beta_1)}{R_2} \right) \quad (2.9)$$

$$\tan 2\beta_1 = \left(-\frac{1}{R_2} \sin 2\beta \right) / \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \cos 2\beta \right) \quad (2.10)$$

де $K(e), E(e)$ -повні еліптичні. інтеграли 1-го та 2-го роду.

Якщо кут $\beta = \pi/2$, а $R_1 = R_2$, то майданчик контакту буде колом і закон розподілу по ньому буде таким самим, як і у разі стиснення куль.

Тоді параметр a :

$$a = \frac{1}{2} \sqrt[3]{\frac{6 P R^2}{2} * \left(\frac{2(1 - \mu^2)}{E} \right)^2} = 5.89 \cdot 10^{-4} \text{ м} \quad (2.11)$$

Характерно, що максимальна контактна напруга σ_z при стисканні двох куль радіуса R приблизно в 1,6 рази більша за максимальну контактну напругу σ_z при стисканні двох навхрест лежачих циліндрів $\beta = \pi/2$, радіуси яких рівні R , а матеріали і рівнодіюча такі ж як у куль.

Максимальна напруга, що виникає при цьому, буде рівна:

$$\sigma_{\max} = 0,798 \sqrt{\frac{p \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}}{\left(\frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right)}} \quad (2.12)$$

Після перетворення з урахуванням прийнятих допущень:

$$\sigma_{\max} = 0,798 \sqrt{\frac{p}{\frac{(1 - \mu^2)}{E} R}} = 218,6 \text{ МПа.} \quad (2.13)$$

Теорія Герца і проблема контактної напруги в цілому отримали значний математичний розвиток протягом останніх двох-трьох десятиліть, що дозволило вивчити вплив сил тертя між тілами, що стикаються, на величину контактної напруги; дослідити випадки стикання тіл, коли одна з них є гнучкою, напр. плити та балки на пружній основі, що підкріплюють кільця та стрижні; розглянути випадки, коли лінійні розміри області контакту можна порівняти з радіусом кривизни дотичних тіл, напрям тиск циліндра на край циліндричного отвору в пружному тілі, радіуси яких майже рівні; вирішена задача в загальному випадку про тиск абсолютно жорсткого тіла (штампу), круглого в плані, на пружний

напівпростір; вирішено деякі конкретні завдання для анізотропних тіл та ряд інших завдань.

Перевіримо отримані в результаті теоретичного розрахунку значення параметрів контактної взаємодії на складеній 3-D та МКЕ моделі.

2.4 Розрахунок МСЕ об'єкта розробки

В програмному забезпеченні Autodesk Fusion 360 у режимі симуляції “Static Stress” виконуємо розрахунок методом скінчених елементів (далі МСЕ).


В роботі розглядалося колесо велосипедного крана та рейки Р24 ДСТУ 3799-98 [12]. Матеріал рейки сталь Ст50, хімічний склад якої наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі Ст50

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0.47 - 0.55	0.17 – 0.37	0.5 – 0.8	до 0.25	до 0.04	до 0.035	до 0.25	до 0.25

Сталь марки 50 – конструкційна середньовуглецева нелегована. Загальний термін для різновидів групи сталей, призначених для виготовлення заготовок у вигляді виливків, лиття, деталей та вузлів для машин та механізмів. Вуглецевою (нелегованою) сталлю називають сплави і сталі, в яких відношення частки вуглецю становить від 0.1% до 1.5% вуглецю, і максимальне значення, вказане для будь-якого з наступних елементів не перевищує відсотка: марганець 1.65%, кремнію 0.60%, міді 0.60%. Конструкційні сталі, з вмістом вуглецю до 0,7% широко використовуються в машинобудуванні, верстатобудуванні для виготовлення корпусних деталей, рам і основ, деталей, що передають крутні моменти, що виконують лінійні переміщення, навантаження, що несуть на розтяг, вигин і кручення.

Зміни у вмісті вуглецю мають найбільший вплив на механічні властивості сталей. М'яка сталь (з низьким вмістом вуглецю) має відносно низьку міцність та здатність піддаватися розриву, а твердість поверхні може бути збільшена шляхом цементації. У процесі цементації метал нагрівається в присутності матеріалів, що містять вуглець (наприклад: вугілля деревне або окис вуглецю), з метою науглерожування вихідного металу. Відповідно, якщо збільшити вміст вуглецю, це призведе до збільшення твердості, а також збільшення міцності сталі.

Коли всі параметри задані створюємо полігональну сітку та запускаємо перевірку. Для біль точних розрахунків в точці контакту колеса з рейков необхідно задати зменшення розміру сітки для чого скористаємось командою Manage > Local Mesh Control .

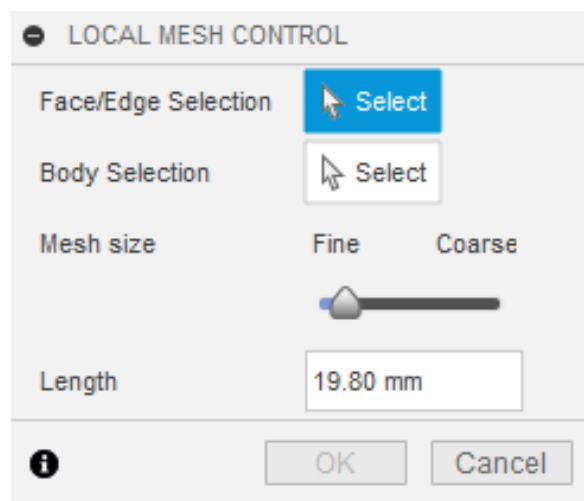


Рисунок 2.12 – Діалогове вікно завдання локальної сітки Local Mesh Control

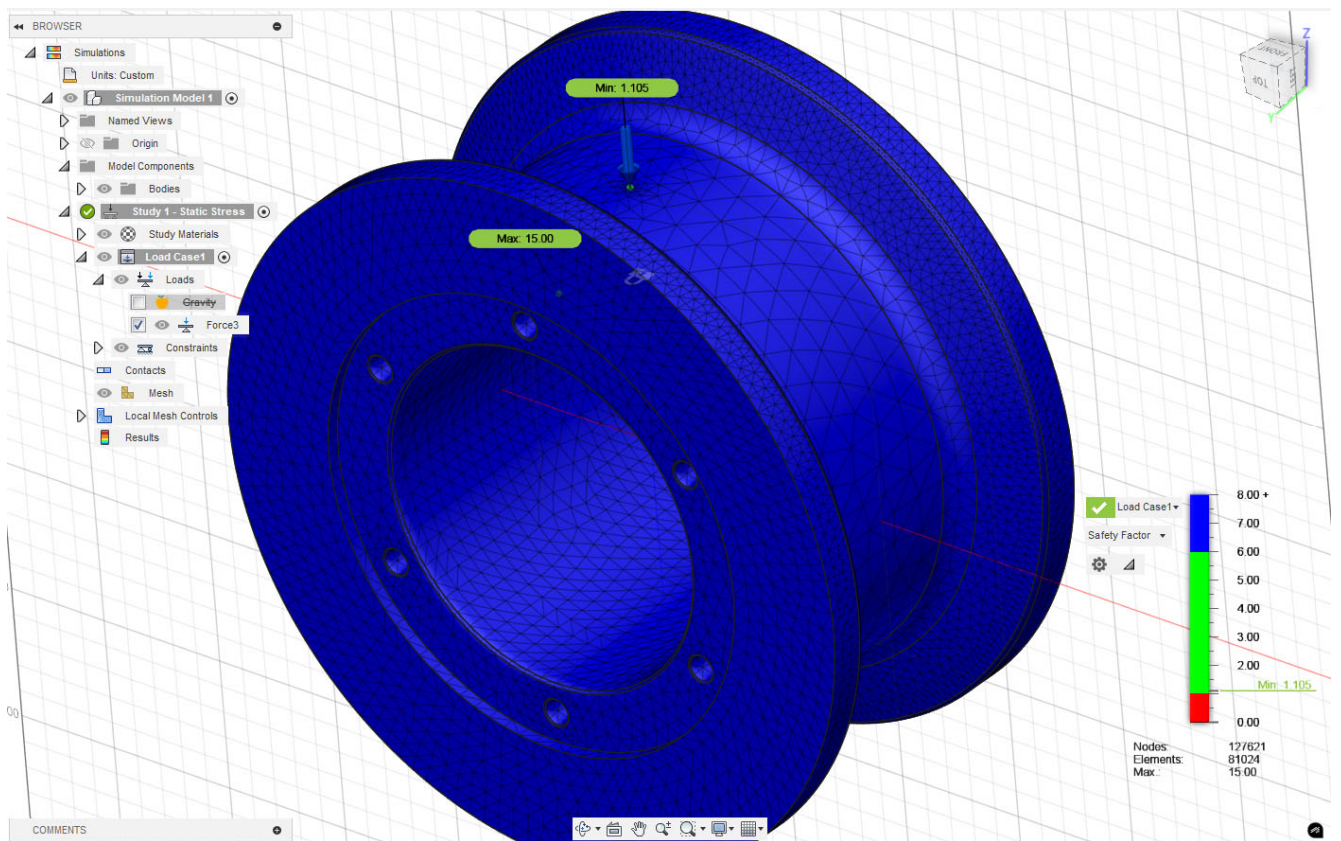


Рисунок 2.13 – Показники фактора безпеки

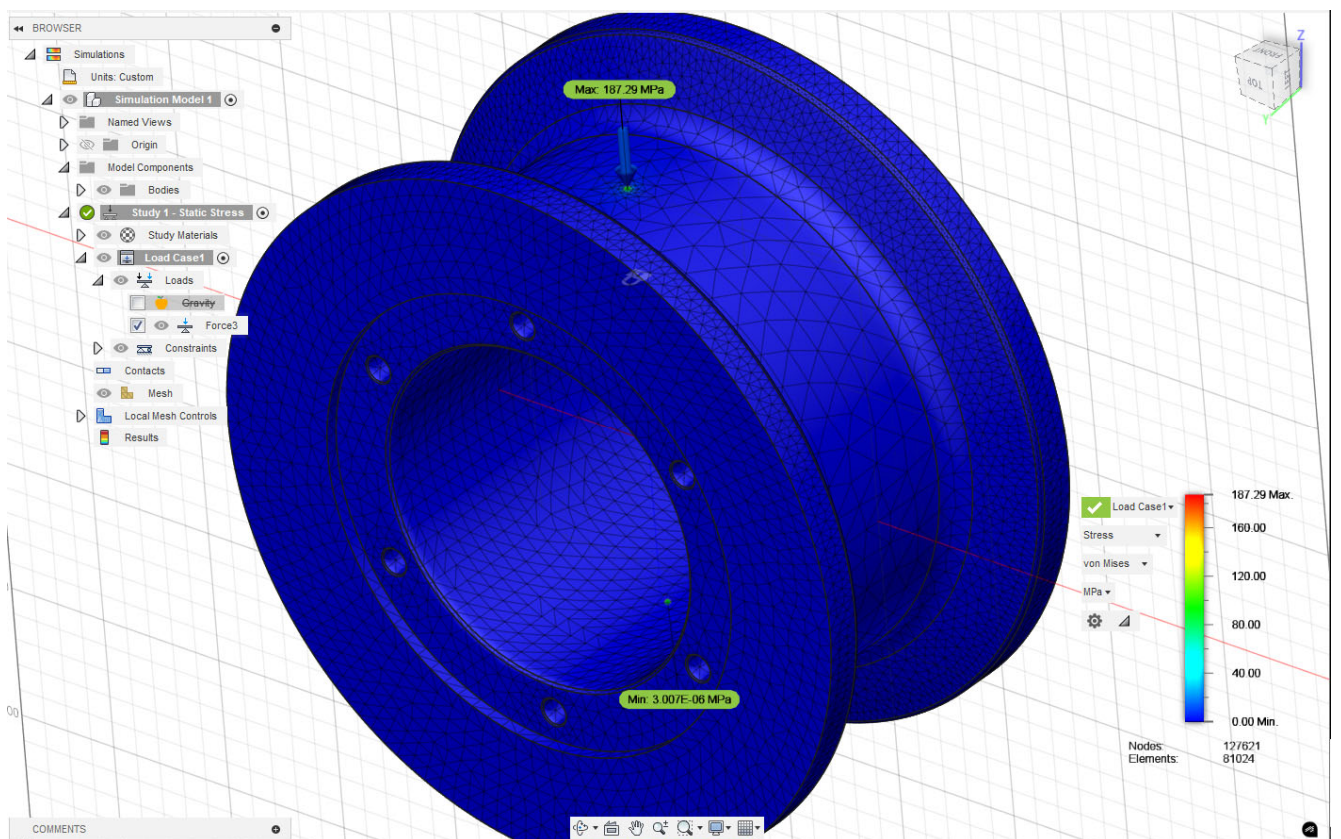


Рисунок 2.14 – Діаграма розподілу напружень

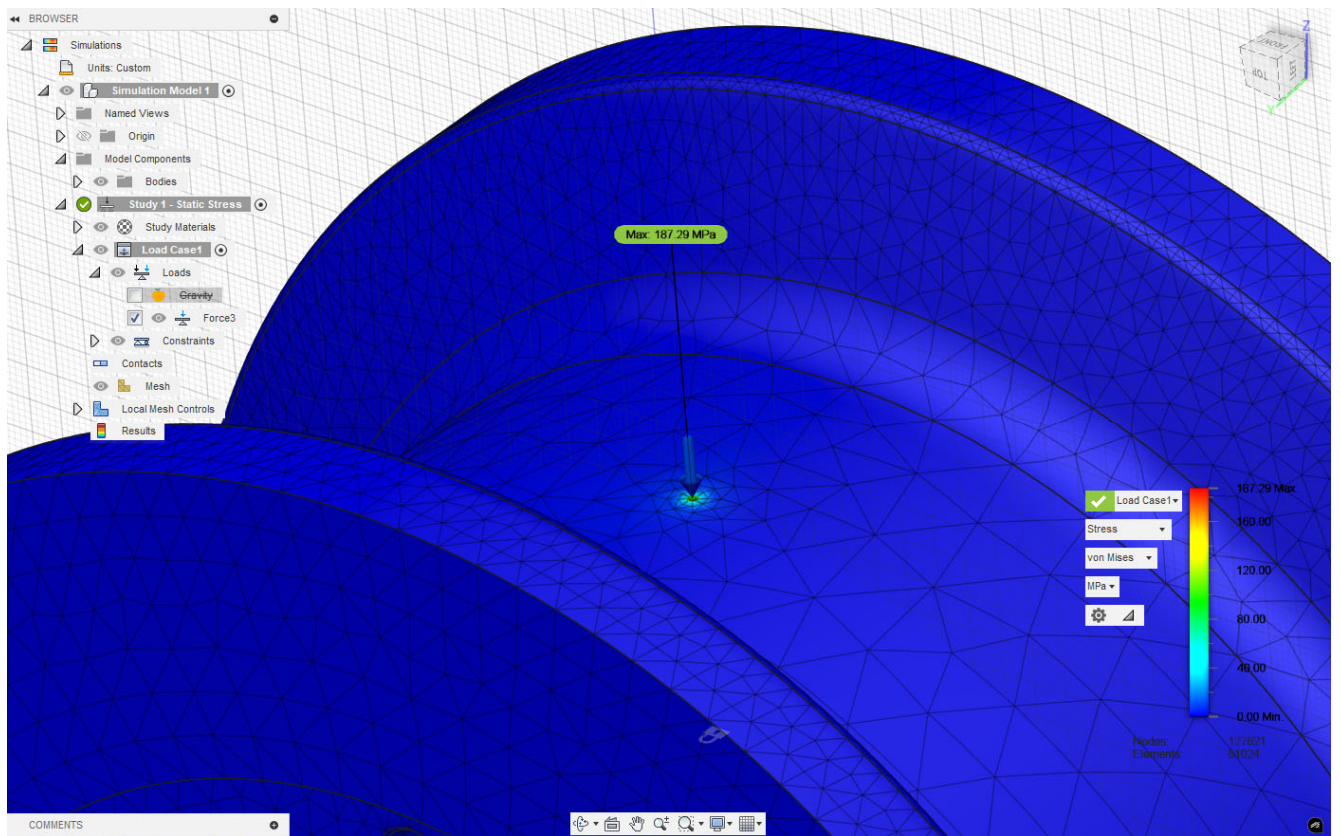


Рисунок 2.15 – Діаграма розподілу напружень зі збільшенням

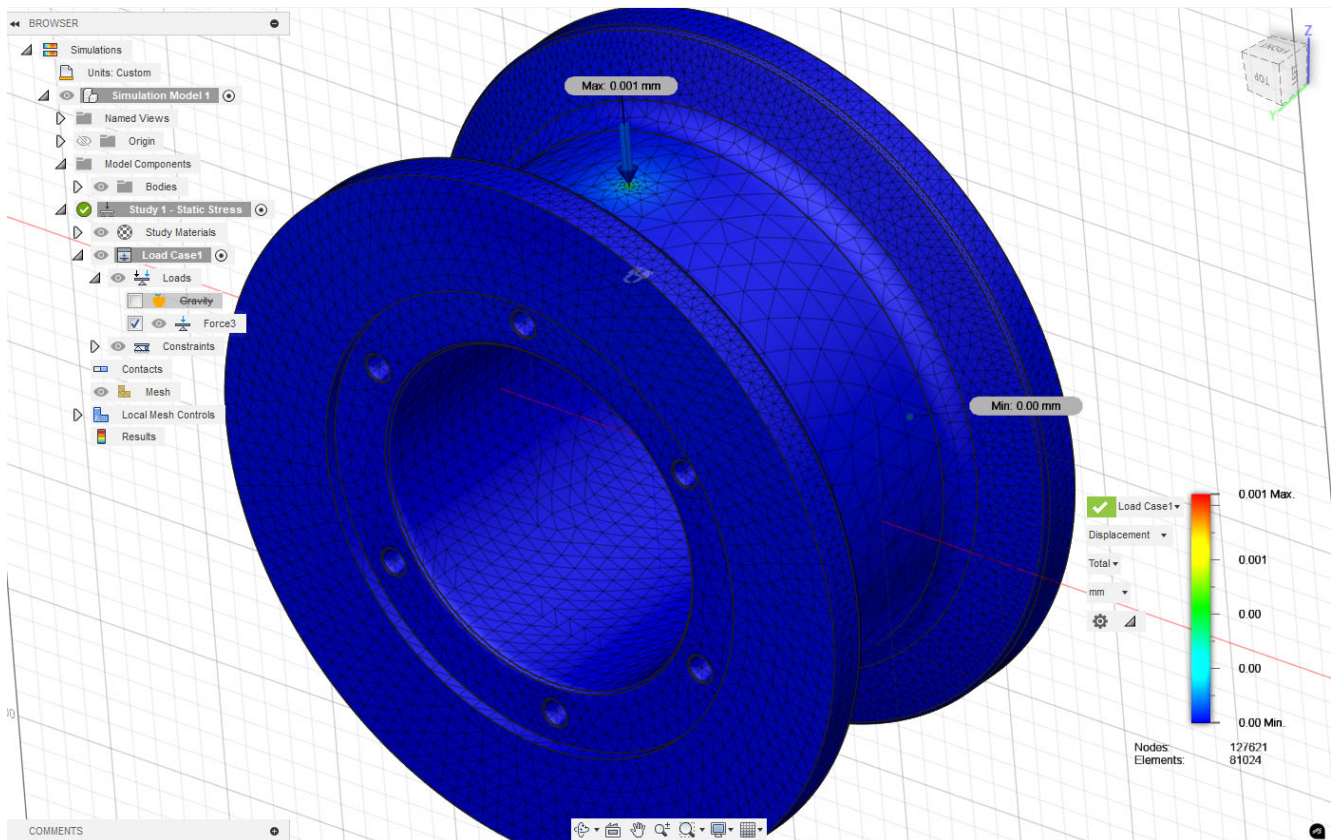


Рисунок 2.16 – Діаграма розподілу деформації

Таким чином, можна зробити висновок, що прикладені робочі навантаження є допустимими для безпечного та ефективного використання матеріалів

2.5 Висновки з 2 розділу

Проведено функціонально-вартісний аналіз та аналіз напружено-деформованого стану колеса велосипедного крану за допомогою методу скінченних елементів.

За допомогою інструментів програмного забезпечення Autodesk Fusion 360, моделювання виконано розрахунок напружено-деформованого стану елементів фрикційної пари: колесо-рейка велосипедного крану. Отримано значення інтенсивності деформацій, що виникає по поверхні взаємодії. Максимальні напруження досягають 187,3 МПа, максимальні деформації на основній поверхні контакту колеса складають 0,001 мм.

РОЗДІЛ 3. ІНЖЕНЕРНО ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Вибір параметрів режиму відновлювального наплавлення

На підставі проведеного аналізу можливих способів відновлювального наплавлення кранових коліс як спосіб наплавлення для побудови проектної технології прийнято автоматичне наплавлення під флюсом. Параметри режиму наплавлення під флюсом:

- струм наплавлення I_H ;
- діаметр присадного прутка, d_e , мм

Таблиця 3.1 – Параметри режиму відновлювального наплавлення

Діаметр електродного дроту, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дузі, В	Швидкість наплавлення, м/ч
2	170 – 180	25 – 27	35

Силу струму наплавлення I_H розраховуємо з урахуванням виконання умови провару на необхідну глибину при наплавленні:

$$I_H = \frac{\pi d_e^2}{4} \cdot a = \frac{3.14 \cdot 2^2}{4} \cdot 60 = 180 \text{ А} \quad (3.1)$$

де d_e – діаметр прутка присадного металу, приймаємо 2 мм;

a – щільність струму при наплавленні, А/мм² приймаємо 50 ... 60 А/мм²;

$$V_{\text{нп}} = \frac{F_e V_H}{F_{\text{нп}}} = \frac{3.14 \cdot 88}{7.4} = 35 \text{ м/ч} \quad (3.2)$$

де F_e – площа поперечного перерізу електродного дроту, мм²:

$$F_e = \frac{\pi d_e^2}{4} = 3,14 \text{ мм}^2 \quad (3.3)$$

де $F_{\text{нп}}$ – поперечний переріз валика наплавленого металу, мм^2 :

$$F_{\text{нп}} = h \cdot S \cdot k_1 = 2 \cdot 6 \cdot 0.65 = 7.8 \text{ мм}^2 \quad (3.4)$$

де h – задана товщина наплавленого шару, 2 мм;

S – крок наплавлення, мм: $S = (2,5 \div 4) \cdot d_e = 3 \cdot 2 = 6$;

k_1 – коефіцієнт, що враховує відхилення фактичної площі перерізу шару від площі прямокутника, $k_1 = 0,6 - 0,7$

Визначаємо напругу на дузі залежно від діаметра електродного дроту та величини зварювального струму за формулою:

$$U_d = 20 + \frac{0.05 \cdot I_H}{\sqrt{d_e}} \pm 1 = 20 + \frac{0.05 \cdot 180}{\sqrt{2}} \pm 1 = 26 \pm 1 \text{ В} \quad (3.5)$$

Визначимо витрату електродного дроту:

$$Q_{\text{еп}} = (1,02 + 1,03) \cdot Q_H = 2,05 \cdot 343,9 = 705 \text{ г} \quad (3.6)$$

де Q_H – маса наплавленого металу, $Q_H = V_H \cdot \gamma = 44065,6 \cdot 0,0078 = 343,9 \text{ г}$

V_H – об'єм наплавленого металу,

$$V_H = F_{\text{нп}} \cdot l \cdot m \cdot n = 7,8 \cdot 408 \cdot 6 \cdot 2 = 38188,8 \text{ мм}^3 \quad (3.7)$$

де l – довжина наплавленого валика, 408 мм;

m – кількість швів з урахуванням кроку наплавлення, 6;

n – кількість шарів наплавлення, 2 по 2мм;

Розрахуємо витрату флюсу Q_{ϕ} на один метр шва:

$$Q_{\phi} = \frac{780 (U_{\text{д}} - 18)}{V_{\text{н}}} = \frac{780 (26.36 - 18)}{0.6} = 11 \text{ кг} \quad (3.8)$$

где $U_{\text{д}}$ – напруга на дузі, 26,36;

$$V_{\text{н}} = 35 \text{ м/ч} = 0,6 \text{ м/хв} \quad (3.9)$$

Таким чином, за формулами (3.1)-(3.9) було розраховано параметри режиму відновлювальної наплавки під флюсом, які будуть використані при складанні проектної технології відновлення.

3.2 Вибір та опис наплавлювальних матеріалів

«Для наплавлення кранових коліс, як правило, застосовуються наплавні матеріали, що забезпечують одержання наплавленого металу типу низьколегованих сталей 18Х1Г1М або 30ХГСА. Однак при напавленні важконавантажених коліс кранів, що експлуатуються на металургійних підприємствах, ці матеріали не забезпечують необхідний ресурс експлуатації» [5].

Підвищення зносостійкості деталей подібного типу можна досягти при використанні наплавних матеріалів, що забезпечують отримання наплавленого металу зі структурою метастабільного аустеніту, що перетворюється на мартенсит під впливом деформацій, що виникають при навантаженні деталі в процесі експлуатації.

Для наплавлення застосуємо зварювальний дріт Св-08Г2СМФ та флюс марки АН-348А, хімічний склад яких представлений у таблиці 3.2 та таблиці 3.3.

Дріт для напівавтомата Св-08Г2С розшифровка:

- Св – зварювальний дріт;

- 08 – середнє значення вуглецю;
- Г – легуючий елемент марганець (Mn);
- 2 – вміст марганцю (приблизно 2%);
- С – кремній (Si), присутність якого вказано у складі.

Таблиця 3.2 – Зварювальний дріт для наплавлення

Марка дроту	Хімічний склад %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	S	P
СВ-08Г2СМФ	0,05- 0,11	0,7-0,95	1,8-2,1	<0,2	0,25	-	-	0,25

Таблиця 3.3 – Флюс для наплавлення

Марка флюсу	Хімічний склад %								
	Si	MnO	CaP	CaO	MgO	AlO	FeO	S	P
АН-348А	41-44	34-38	3,5-4,5	>6,5	5,0-7,5	>4,5	2	0,15	0,12

Зварювальний флюс АН-348 А призначений для механізованого (автоматичного та напівавтоматичного) зварювання та наплавлення конструкцій з вуглецевих нелегованих та низьколегованих сталей зварювальним дротом марок СВ-08, СВ-08А, СВ-08ХМ та ін.

Флюс АН-348А має колір від жовтого до коричневого всіх відтінків. Висококремнистий високомарганцевистий оксидний флюс із хімічною активністю 0,7-0,75. При зварюванні-наплавці під флюсом інтенсивно протікають кремне-і марганцево-відновлювальні процеси. Вміст кисню в металі шва у вигляді оксидних дрібнодисперсних включень становить 0,06% (для однопрохідних) та до 0,1% (для багатощарових).

Особливо інтенсивна взаємодія між флюсом та металом при зварюванні дротом малих діаметрів (до 3 мм). Концентрація сірки та фосфору в металі швів у середньому становить 0,04% кожного. Не рекомендується для зварювання конструкцій за температури нижче -30°C.

3.3 Устаткування для проведення відновлювального наплавлення

Для здійснення наплавлення застосуємо двоголовковий автомат А-1416, представлений малюнку 11. Тривалість включення автомата ПВ=100%, діаметр наплавочного дроту становить 1,2...5,0 мм. Автомат А-1416 дозволяє проводити дводугове зварювання та наплавлення дротом суцільного перерізу під шаром флюсу. Можливе проведення відновлювального наплавлення деталей з низьковуглецевої та легваної сталі з використанням постійного струму, незалежної установки швидкості подачі кожного електродного дроту.

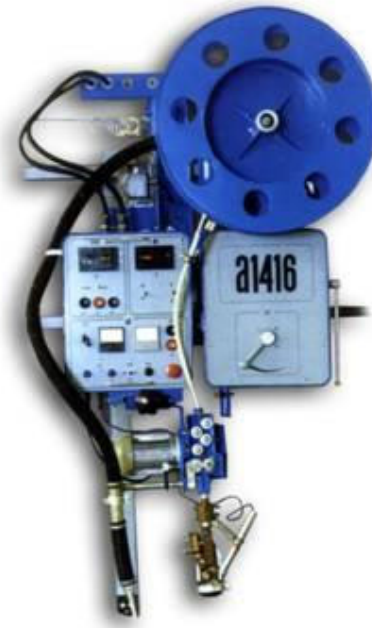


Рисунок 3.1 – Автомат А-1416

Установка для наплавлення під флюсом, представлена на малюнку 12, включає:

- основа (позиція 1);
- траверса (позиція 2);
- обертач горизонтальний (позиція 3);
- головка наплавна (позиція 4);

- пульт керування (позиція 5);
- джерело живлення (позиція 6);
- механізм подачі дроту (позиція 7);
- маховик переміщення (позиція 8);
- бункер для флюсу (позиція 9);
- пульт керування обертачем (позиція 10);
- стік флюсу (позиція 11);
- лоток для збирання флюсу (позиція 12);
- котушка дроту (позиція 13).

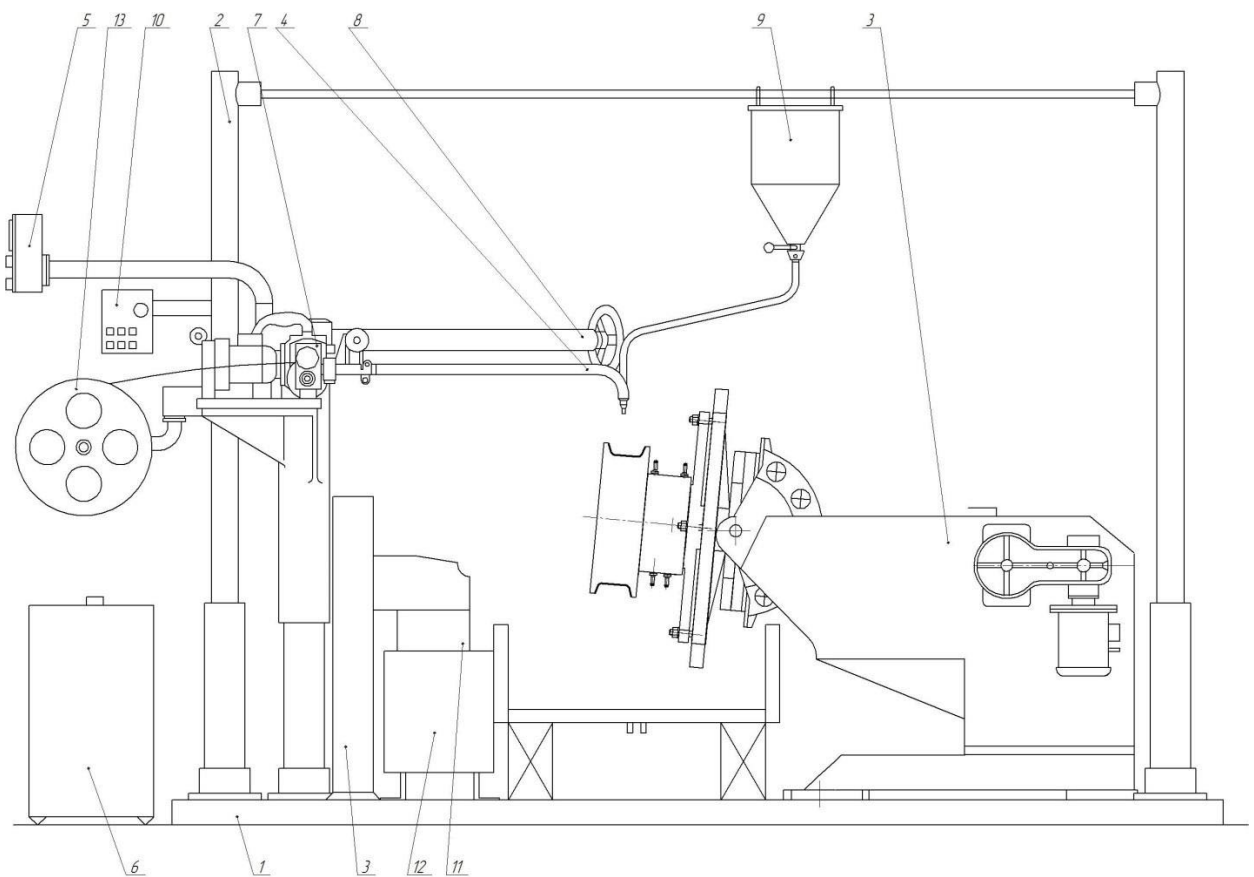


Рисунок 3.2 – Установка для наплавлення під флюсом

3.4 Опис операцій проектного технологічного процесу відновлювального наплавлення

Огляд та вимірювання геометричних параметрів кранового колеса, далі подають колесо в токарне відділення. У токарному відділенні колесо встановлюють та закріплюють у центрах верстата та обточують поверхню катання коліс. Вибір розмірів та параметрів обробки роблять на підставі розмірів, які були відзначені бригадиром при зовнішньому огляді. У процесі обробки поверхні катання кранових цельнокатаних коліс піддають: поверхню катання; гребінь колеса; внутрішню грань (при необхідності).

Зачищення поверхні, що наплавляється, проводять з використанням сталевих щіток або шляхом поверхневою обточкою на верстаті. Перед проведенням наплавлення поверхню слід знежирити бензином, застосовувати гас не допускається.

Підготовлене колесо подають на ділянку наплавлення і встановлюють пристрій для попереднього підігріву. Для підігріву використовують установку індукційного підігріву ІПК-250, представлену малюнку 13. Температура попереднього підігріву $180...190^{\circ}\text{C}$, нагрівання має бути забезпечене за $45...60$ хвилин. Після попереднього підігріву колесо подають на встановлення наплавлення.



Рисунок 3.3 – Установка індукційного підігріву

Виконують установку мундштука зварювальної головки на стартову позицію наплавлення, відкривають засувку механізму подачі флюсу, вмикають обертач, запалюють зварювальну дугу і починають процес наплавлення.

У ході наплавлення оператору необхідно стежити за формуванням наплавленого металу. Якщо не відбувається мимовільного відставання шлакової кірки, необхідно видаляти її вручну. Шлакову кірку слід збивати зі шва після затвердіння та остигання кірки, коли вона стала темного кольору.

Якщо стався обрив дуги, повторно збуджувати дугу слід після повного оберту колеса за 20...50 мм перед місцем обриву дуги. Це необхідно для переварювання кратера, що вийшов.

Після повного обороту колеса, що наплавляється, зварювальний пальник зміщують у напрямку розкладки валиків на необхідну величину. Напрямок наплавлення – знизу нагору.

Наплавку робимо на постійному струмі зворотної полярності. Допускається проводити наплавлення на постійному струмі прямої полярності.

Після наплавлення кранове колесо для рівномірного та уповільненого остигання поміщають у термостат. Між зніманням наплавленого колеса з обертача та встановленням його в термостат не повинен проходити більше 5 хвилин.

Охолодження наплавленого колеса в термостаті повинно проводитися із середньою швидкістю, що не перевищує 50°С/годину та тривалістю не менше 6 годин.

Температура наплавленої поверхні колеса в момент вилучення його з термостата не повинна бути більшою за 50 °С». Постанова колеса візок крана повинна проводитися тільки після його повного остигання до кімнатної температури.

Для живлення дуги при наплавленні під флюсом застосуємо джерело живлення ВДУ-1250, представлене на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – Джерело живлення для наплавлення під флюсом ВДУ-1250

Джерело живлення ВДУ-1250 характеризується надійним запалюванням та стійким горінням зварювальної дуги, має високу стабільність процесу зварювання на всьому діапазоні значень зварювальних параметрів. Джерело забезпечує одержання двох видів жорстких зовнішніх вольтамперних характеристик. Джерело має можливість дистанційного регулювання параметрів зварювання. ВДУ-1250 може бути рекомендований під час виконання відповідальних робіт, що вимагають високу інтенсивність навантаження при ПВ 100%.

3.5 Висновки з 3 розділу

У роботі поставлена мета – відновлення кранових коліс за рахунок впровадження технологій наплавлення.

Проведений аналіз можливих способів відновлювального наплавлення кранових коліс передбачає розгляд переваг та недоліків наступних способів:

- ручне дугове наплавлення штучними електродами;
- механізована наплавка серед захисних газів;
- наплавлення під флюсом;
- електрошлакова наплавка;
- наплавлення порошковим самозахисним дротом.

Розгляд переваг і недоліків кожного з розглянутих способів відновлювального наплавлення відновлювального наплавлення кранових коліс дозволило вибрати спосіб для побудови проектної технології.

На підставі літературних досліджень за запропонованими методиками виконано розрахунок оптимальних параметрів режиму автоматичного наплавлення під флюсом: струму наплавлення, діаметра дроту, напруги на дузі, швидкості подачі дроту, швидкості зварювання та витрати флюсу.

На підставі літературних досліджень вибрано наплавні матеріали: флюс АН-348А та дріт Св-08Г2СМФ.

Виконаний вибір автомата для виконання наплавлення під флюсом та спроектована наплавна установка.

4 РОЗДІЛ. ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

ДСТУ EN 13001:2018 – це український національний стандарт, який є ідентичним європейського стандарту EN 13001 і стосується вантажопідіймальних кранів. Він встановлює загальні принципи та вимоги до проектування кранів з метою запобігання механічним небезпекам.

ДСТУ EN 13001:2018 містить декілька частин:

ДСТУ EN 13001-1:2018 (EN 13001-1:2015, IDT) - "Крани вантажопідіймальні. Загальні положення конструювання. Частина 1. Загальні принципи і вимоги".

ДСТУ EN 13001-2:2018 (EN 13001-2:2014, IDT) - "Крани вантажопідіймальні. Загальні положення конструювання. Частина 2. Загальні навантаження".

ДСТУ EN 13001-3-2:2018 (EN 13001-3-2:2014, IDT) - "Крани вантажопідіймальні. Загальні положення конструювання. Частина 3-2. Граничні стани та перевіряння міцності дротяних канатів у поліспахах".

Цей стандарт важливий для проектування, виготовлення та експлуатації кранів, оскільки він визначає вимоги до конструкції, навантажень, а також перевірки міцності основних елементів крана, таких як канати.

Він визначає загальні принципи та вимоги до проектування вантажопідіймальних кранів, зокрема, щодо граничних станів та перевірок, щоб запобігти механічним небезпекам. Він є частиною серії стандартів EN 13001, що охоплює загальні положення конструювання кранів.

Стандарт встановлює загальні вимоги до виготовлення, матеріалів, термообробки, контролю якості та приймання коліс і бандажів, призначених для вантажопідійомних кранів. Він регламентує технічні характеристики коліс, які забезпечують їх надійність і безпеку під час експлуатації.

У стандарті зазначено вимоги до хімічного складу і механічних властивостей сталі, з якої виготовляються колеса. Передбачена обов'язкова термообробка для досягнення потрібних показників твердості та структури металу. Встановлено вимоги до твердості поверхні катання і гребеня колеса, щоб забезпечити необхідну

зносостійкість і опір втомним руйнуванням. Твердість повинна бути рівномірною по всій робочій поверхні.

Стандарт передбачає проведення контролю якості, включаючи візуальний огляд, вимірювання геометричних параметрів, перевірку твердості, а за потреби — неруйнівний контроль для виявлення дефектів. Вимірювання твердості виконують на підготовлених поверхнях із використанням стандартних методів контролю. Кількість точок контролю та їх розташування визначаються виробничою або проектною документацією.

Документація результатів контролю є обов'язковою. Вона підтверджує відповідність виготовлених коліс встановленим вимогам та дозволяє їх приймання замовником або контролюючою організацією. Стандарт орієнтований на використання сучасних методів виробництва та контролю відповідно до європейської практики.

Передбачені такі види контролю:

- візуальний та вимірювальний контроль для перевірки відповідності геометричних параметрів і відсутності дефектів;
- перевірка твердості на робочих поверхнях коліс і бандажів;
- неруйнівний контроль для виявлення внутрішніх або поверхневих дефектів;
- оформлення результатів контролю у вигляді протоколу або сертифіката відповідності.

4.1 Сертифікація виробу за допомогою твердоміра

Твердість - це властивість матеріалу, яка дозволяє йому протистояти постійній деформації, проникненню, вм'ятинам і подряпинам. Тому твердість важлива з інженерної точки зору, оскільки стійкість до зношування внаслідок тертя або ерозії від пари, масла та води зазвичай зростає зі збільшенням твердості. Твердість матеріалу означає його здатність протистояти зносу, розриву, подряпинам і стиранню.

Випробування на твердість – це процес перевірки твердості поверхні шляхом додавання визначеної відомої сили до випробувальної поверхні, що дозволяє нам дізнатися міцність металу. Випробування на твердість дозволяє дізнатися, який тиск може витримати матеріал, перш ніж він змінить свою форму.

Дуже важливо знати твердість матеріалів при пошуку відповідного матеріалу для конкретної середовища та використання. Наприклад, використання металу в середовищі, яке може містити дрібні частинки, що викликають знос матеріалу. М'які матеріали схильні до вм'ятин, а тверді більш стійкі до будь-яких змін у формі.

Існують різні типи випробувань на твердість, і кожен тип випробувань унікальний і призначений для різних цілей.

Ці різні типи тестів на твердість допомагають нам отримувати показання для вимірювання твердості різними способами. Наприклад, для тесту Брінелля ми використовуємо діаметр відбитка для визначення твердості матеріалу, для тесту Роквелла ми використовуємо глибину відбитка, для тесту Віккерса ми використовуємо відбиток і кут при вершині 136 градусів для вимірювання твердості, а тест Кнупа в основному використовується для дуже тонких матеріалів.

Різні випробування на твердість можуть бути використані для таких цілей як: перевірка якості, вимірювання необхідної питомої твердості, підтримка сталості та сертифікація металів.

Багато постачальників і виробників металів використовують різні типи випробувань на твердість металу для забезпечення якості. Як правило, компанії перевіряють твердість матеріалу, отриманого від постачальників, щоб переконатися, що матеріал відповідає зазначеним стандартам якості і, зокрема, бажаній твердості, необхідній для використання матеріалу.

Часто матеріал піддають термообробці для досягнення бажаного рівня твердості, який може бути вищим або нижчим за початкову твердість матеріалу. У цьому випадку після термічної обробки матеріалу важливо перевірити твердість, щоб переконатися, що термічна обробка досягла бажаної мети - зміцнення або розм'якшення матеріалу до необхідних характеристик.

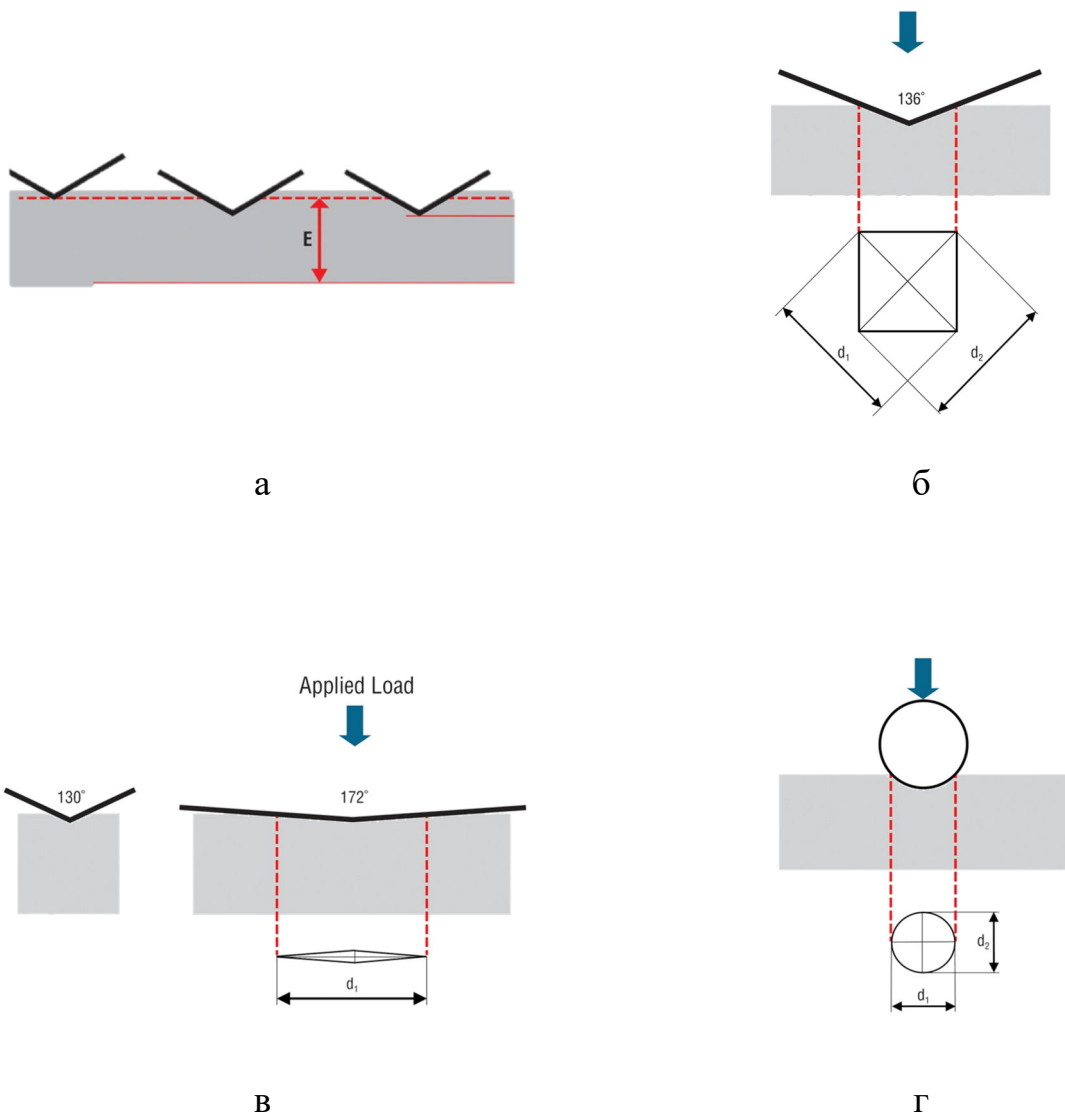


Рисунок 4.1 – Види тестів на твердість (а – твердість за Роквеллом, б – твердість за Віккерсом, в – твердість за Кнупом, г – твердість за Брінеллем)

Під час виробництва може знадобитися взяти проби деталей або матеріалу, щоб забезпечити сталість твердості в процесі [15].

Для здійснення сертифікації тримача ковша пропонуємо твердомір NOVOTEST T-УД2.

4.1.1 Твердомір NOVOTEST T-УД2

У комплекті комбінованого твердоміра T-УД2 два датчика - ультразвуковий і динамічний. Ми отримуємо всі переваги одного з способів управління, підключивши необхідний датчик. Таким чином, ми можемо використовувати динамічний датчик, там де він найкраще працює (крупнозернисті матеріали, наприклад, чавун або нержавіюча сталь), а у разі необхідності виміряти твердість невеликих виробів (наприклад, листового металу товщиною 2 мм) або твердість поверхневого азотованого шару – просто підключити ультразвуковий датчик і без проблем вирішити ці завдання.

Твердомір NOVOTEST T-УД2 являє собою портативний прилад, виконаний в ударостійкому корпусі (зі спеціальним захисним силіконовим бампером-чохлам для складних умов експлуатації) всередині якого розміщено плату з електронними компонентами та акумулятори. Основні характеристики пристрою наведені в таблиці 4.1. В таблиці. 4.2 наведено діапазони вимірювань, а в таблиці 4.3 - характеристики перетворювачів.

Таблиця 4.1 – Основні характеристики твердоміра T-УД2

Габаритні розміри, мм	22x65x23
Живлення від двох NiMH акумуляторних батарей або елементів живлення типу AA	по 1,2 В
Сила струму живлення, не більше, мА	100
Час безперервної роботи, не менше, год	20
Маса електронного блока з батареєю, не більше, г	250
Робочий діапазон температур, °С	від -20 до + 40
Вологість повітря, не більше	98 %, при 35 °С

Таблиця 4.2 - Діапазон вимірювань і межі основної допустимої похибки

Шкала твердості	Діапазон вимірювання	Похибка	
		У1	Д1
Роквелл, HRC	від 20 до 70	±2	±2
Брінелль, HB	від 90 до 150	±10	±10

Брінелль, НВ	від 150 до 450		±15
Віккерс, НV	від 240 до 500	±15	±15
Віккерс, НV	від 500 до 940		±20
Межа міцності σ_B (довідкова) ГОСТ 22761-77, Мпа	від 370 до 1500	Нормується під час градування	

Таблиця 4.3 - Показники перетворювачів

Тип перетворювача	У1 (98 Н)	У1 (50 Н)	У1 (10 Н)	Д1
габаритні розміри	Ø30x140	Ø30x140	Ø30x140	Ø25x95
Маса, г, не більше	250	250	250	130
Шорсткість вимірюваної поверхні, Ra	3,2	2,5	1,5	3,2
Радіус кривизни вимірюваної поверхні, мм	5	5	5	10
Маса контрольованого виробу, не менше, кг	0,1*	0,1*	0,1*	5*
Товщина контрольованого виробу, не менше, мм	1,5*	1*	0,8*	12*
Навантаження, кгс	10	5	1	-

* і менше при використанні рекомендацій щодо проведення вимірювань твердості легких та тонких зразків.

На рисунку 4.2 зображено конструкцію приладу, типи перетворювачів показано на рисунку 4.3.

Перетворювач Д1 використовується для вимірів твердості динамічним методом (метод Ліба). Призначений для виміру твердості великогабаритних об'єктів. Перетворювач У1 використовується для вимірювання твердості контактнo-резонансним методом. Призначений для вимірювання твердості виробів зі складною геометрією, невеликою масою та товщиною стінки у місці виміру.



1 – перетворювач; 2 – захисний чохол; 3 – електронний блок; 4 – графічний індикатор; 5 – кнопки управління; 6 – відсік для батарей; 7 – маркування моделі твердоміра; 8 – роз'єм mini USB; 9 – роз'єм Lemo для підключення перетворювачів; 10 – пломба; 11 – кришка; 12 – акумулятор типу NiMH.

Рисунок 4.2 – Склад твердоміра NOVOTEST T-УД2



Рисунок 4.3 – Типи перетворювачів

Перед початком випробування підготуйте зону вимірюваної поверхні виробу, видаливши з неї вологу, забруднення (масло, пил і т.д.), мастило, окалину, окисну плівку, іржу. Зачистіть шліфувальною машинкою або шкіркою і протріть ганчіркою поверхню в зоні вимірювання.

Розглянемо послідовність дій для випробуванням за допомогою динамічного перетворювача.



Рисунок 4.4 – Проведення замірів твердості колеса твердоміром Т-УД2

Підготувавши поверхню матеріалу потрібно під'єднати динамічний перетворювач Д1 до твердоміра, далі звести пружину перетворювача штовхачем, що поставляється разом із перетворювачем, плавно завантажити ударник із торцевої частини перетворювача (через отвір для взводу пружини) до замикання. Ввімкнути пристрій та обрати шкалу твердості за якою буде проводитися дослід. Налаштувати на пристрої кут, під яким проводитиметься вимір. Встановлений кут відображається у верхній середній частині дисплея. Кут 0 градусів відповідає вертикальному положенню перетворювача. Встановлюємо перетворювач до зони вимірювання поверхні виробу, що контролюється. Однією рукою утримуємо нижню частину корпусу перетворювача, а іншою рукою – верхню частину корпусу. Плавно натискаємо пальцем на кнопку спуску у верхній частині корпусу перетворювача. Слідкуємо, щоб перетворювач не коливався і був надійно притиснутий до зони вимірювання. Після натискання кнопки спуску і удару бойка

в зону вимірювання прозвучить звуковий сигнал та на дисплеї електронного блоку з'явиться виміряне значення твердості.

4.2 Контроль якості зварювальних швів за допомогою ультразвукового дефектоскопа

Оскільки під час зварювання відбувається сплавлення двох або більше металів, виявлення внутрішніх дефектів зварювання під час візуального огляду може бути ускладнене. У цьому випадку неруйнівний контроль (НК) є цінним варіантом, оскільки він покаже вам цілісність вашого зварного шва. Цей процес забезпечить безперебійну роботу без пошкодження будь-яких інструментів [17].

Для перевірки на дефекти всередині зварних швів пропонуємо використовувати ультразвуковий дефектоскоп NOVOTEST УД3701.

4.2.1 Ультразвуковий дефектоскоп NOVOTEST УД3701

Ультразвуковий дефектоскоп УД3701 дозволяє виявляти різні внутрішні дефекти у виробках та конструкціях з різних матеріалів. Звичайно, найбільш поширеним є використання дефектоскопа для контролю якості металевих виробів та зварних з'єднань.

Однак, крім класичного використання як прилад для контролю якості, ультразвуковий дефектоскоп УД3701 має збільшену точність вимірювання часу для дуже точного вимірювання товщини виробів і швидкості ультразвуку в них. Даний режим роботи приладу дозволяє з точністю до 0,01 мм вимірювати товщину, як це роблять сучасні товщиноміри з А-сканом, таким чином замінюючи відразу два стандартні прилади - ультразвуковий дефектоскоп і товщиномір.

Ультразвуковий дефектоскоп NOVOTEST УД3701 являє собою прилад, виконаний у міцному корпусі, всередині якого розміщено плату з електронними компонентами та акумулятор. Основні характеристики приладу наведено в таблиці 4.4. В таблиці 4.5 наведено технічні характеристики приладу.

Таблиця 4.4 - Основні характеристики ультразвукового дефектоскопа NOVOTEST УД3701

Габаритні розміри, мм	250x150x50
Дисплей, мм	155x85 (7" тачскрін)
Маса, не більше, кг	1,4
Акумулятор, А/год	12
Напруга живлення зарядного пристрою, В	5
Час безперервної роботи, год	до 20
Робочий діапазон температур, °С	від -30 до +55
Вологість повітря, не більше, %	95 при 35 °С

Межі основної абсолютної похибки приладу при вимірюванні глибини залягання дефекту (товщини) – не більше $\pm (0,5 + 0,01 \cdot N_x)$ мм, де N_x – чисельне значення. Глибина залягання дефекту (товщини), виражена в міліметрах.

Межі абсолютної похибки, що допускається при вимірі координат залягання дефектів - $\pm (0,5 + 0,01 \cdot X)$ мм, де X - чисельне значення координати дефекту, виражене в міліметрів.

Межі абсолютної похибки, що допускається при вимірюванні відношення амплітуди сигналів - $\pm 0,5$ дБ на кожні 10 дБ.

Таблиця 4.5 - Технічні характеристики приладу

Розгортка, мкс: - мінімальна	0 – 14
- максимальна	0 – 1000
Затримка, мкс	0 – 1000
Максимальна товщина контрольованого матеріалу, мм	до 6000 (ехо-режим) для сталі
Діапазон швидкостей, м/с	1000 - 9999

Затримка в призмі, мкс	0 – 100
Демпфірування, Ом	50
Вхідний імпеданс	50 Ом / 600 Ом
Амплітуда зондувального імпульсу, В	200 (U1); 150 (U2); 100 (U3)
Частота повторень ЗІ, Гц	автоматично регульована від 10 до 100
Аналоговий підсилювач, МГц	широкосмуговий 0,4 - 20 (-6 дБ)
Діапазон регулювання посилення, дБ	126
Діапазон зміни чутливості ВРЧ, дБ	до 70 (12 дБ/мкс)
Кількість опорних точок ВРЧ	16
Кількість опорних точок АРК	16
Автоматична сигналізація дефектів (АСД)	двобитна
Діапазон встановлення зон АСД, мкс	від 0 до 1000
Регулювання порогів зон АСД, % висоти екрана	від 0 до 100
Детектування сигналів	позитивна або негативна напівхвиля, повна, радіосигнал (у всьому діапазоні сканування)

Конструкція приладу складається з електронного блоку і приєднаних за допомогою роз'єму перетворювачів. Керування дефектоскопом здійснюється за допомогою клавіатури або тачскрін дисплея. Візуалізація сигналів, а також індикація результатів вимірювань, стану дефектоскопа та іншої інформації здійснюється на контрастному кольоровому тачскрін дисплеї. Підключення ПЕП здійснюється за допомогою коаксіальних кабелів, через роз'єми, які розташовані на верхній панелі корпусу. Живлення приладу здійснюється або від внутрішнього акумулятора, або від зовнішнього зарядно-живильного пристрою, що під'єднується до роз'єму USB, який розташований на правому торці електронного блоку дефектоскопа. Також USB роз'єм використовується для підключення приладу до ПК. На рисунку 4.5 зазначено складові частини приладу.



1- роз'єм для суміщеного перетворювача та передавального п'єзоелемента; 2 – роз'єм для приймального п'єзоелемента; 3 – контрастний кольоровий тачскрін дисплей; 4 – індикатор стробу А; 5 – індикатор стробу В; 6 – клавіатура; 7 – роз'єм USB; 8 – індикатор акумулятора.

Рисунок 4.5 – Ультразвуковий дефектоскоп NOVOTEST УД3701

На рисунку 4.5 зображено п'єзоелектричні перетворювачі різних типів.



Рисунок 4.5 – П'єзоелектричні перетворювачі

Похилі перетворювачі типу П121 широко застосовуються в задачах контролю зварних з'єднань, листів, штампувань, поковок та інших об'єктів. Перетворювачі П121 дозволяють виявляти тріщини, об'ємні дефекти, такі як неметалеві включення, пори, непровари, усадкові раковини і т.п. За допомогою перетворювачів типу П121 (рис. 4.6) зазвичай визначаються характеристики вертикально орієнтованих дефектів.



Рисунок 4.6 – Зовнішній вигляд похилого поєднаного перетворювача

В основу роботи дефектоскопа покладена здатність УЗК поширюватися в контрольованих виробках та відбиватися від внутрішніх дефектів та меж матеріалів.

Збудження УЗК у контрольованому виробі здійснюється за допомогою п'єзоелектричного ефекту перетворювачами електричних коливань на механічні (П'єзоелектричні перетворювачі, ПЕП). Відбиті від дефектів УЗК сприймаються ПЕП. Отримані електричні коливання підлягають посиленню, перетворенню на цифрову форму, обробку та видачу на дисплей. Відображення відбитих сигналів на дисплеї здійснюється у вигляді розгортки типу А-Скан.

Аналізуючи А-Скан, оператор-дефектоскопіст приймає рішення про наявність у виробі дефекту, його місцезнаходження та еквівалентних розмірах.

При визначенні глибини залягання використовується формула:

$$H = \frac{C \cdot t}{2} \quad (4.1)$$

де H - відстань від точки введення УЗК до дефекту, м;

C - швидкість поширення УЗК у досліджуваному матеріалі, м/с;

t - час проходження УЗК від точки введення до дефекту і назад, с

Дефектоскоп реалізує луну, тінювий та дзеркально-тінювий методи акустичного контролю.

Ультразвуковий контроль зварних з'єднань широко застосовується у всіх галузях промисловості. Ультразвуковий контроль зварних з'єднань, як правило, виконується похилими суміщеними перетворювачами, тип П121 (таблиця 4.6).

Таблиця 4.6 – Рекомендовані типи похилих перетворювачів

Тип перетворювача	Кут введення в сталь	Стріла (мм)	Товщина листа (мм)
П121-10-70	70	4	4 – 6
П121-5.0-70	70	7	5 – 11
П121-5.0-65	65	7	10 – 16
П121-2.5-65	65	9	12 – 28
П121-2.5-50	50	9	26 – 50
П121-1.8-50	50	10	26 – 50
П121-2.5-40	40	9	40 – 110
П121-1.8-40	40	10	0 – 110

У зварному шві контролюється наплавлений метал і зони термічного впливу. Прозвучування проводиться з поверхні навколошовної зони прямими і одного разу відбитими променями.

Прозвучування кореня зварного шва має виконуватися прямими променями перетворювача, цю вимогу забезпечують два параметри - стріла і кут вода [18]

Для тримача ковша рекомендуємо обрати похилий перетворювач П121-5.0-65, адже товщина листа металу там дорівнює 15 мм.

Процедура підготовки до вимірювання ультразвуковим дефектоскоп співпадає з процедурою підготовки до вимірювання твердоміром.

На зображенні 4.8 зображено дисплей в режимі «Дефектоскоп».

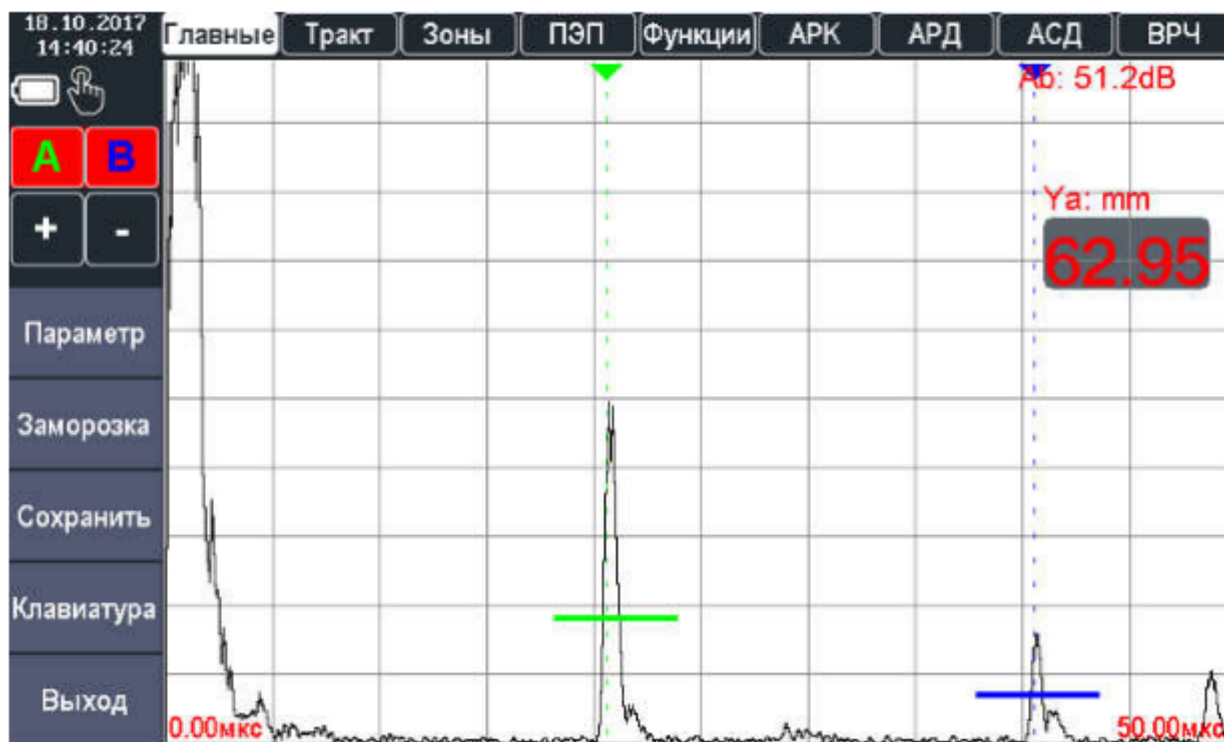


Рисунок 4.7 – Режим «Дефектоскоп»

У режимі «Дефектоскоп» здійснюється проведення контролю, а також налаштування приладу відповідно до поставленого завдання.

4.3 Висновки з 4 розділу

Досліджено методи контролю якості та сертифікації колеса велосипедного крану.

За основу перевірки якості взято контроль твердості виробу та неруйнівний контроль наплавленого шару.

Запропоновано використання твердоміра NOVOTEST Т-УД2, виконано роботу по ознайомленню з технічними характеристиками пристрою, а також його широкими можливостями. Особливість даного твердоміра в тому, що він має можливість виконувати тести на твердість за Роквеллом, Брінеллем та Віккерсом, додатково може визначати межу міцності. Така багатофункціональність отримується завдяки двом датчикам – ультразвуковому і динамічному.

Запропоновано використання ультразвуковий дефектоскопа NOVOTEST УД3701 для контролю наплавлення колеса велосипедного крану. Проведено аналіз пристрою та розглянуто його переваги у використанні при пошуку дефектів відновленого наплавленого шару. Обрано перетворювач, який підходить для дослідження наплавленого шару колеса велосипедного крану.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

За результатами аналізу відновлювального наплавлення кранових коліс рекомендовано наплавлення виконувати на базі автоматичного наплавлення під флюсом.

Проведено функціонально-вартісний аналіз та аналіз напружено-деформованого стану колеса велосипедного крану за допомогою методу скінченних елементів.

Створено 3д-модель колеса велосипедного крану та проаналізовано його напружено-деформований стан за допомогою методу скінченних елементів за допомогою інструментів програмного забезпечення Autodesk Fusion 360.

Отримано значення інтенсивності деформацій, що виникає по поверхні взаємодії. Максимальні напруження досягають 187,3 МПа, максимальні деформації на основній поверхні контакту колеса складають 0,001 мм.

На підставі літературних досліджень вибрано наплавні матеріали: флюс АН-348А та дріт Св-08Г2СМФ.

Виконаний вибір автомата для виконання наплавлення під флюсом та спроектована наплавна установка.

Досліджено методи сертифікації та контролю якості тримача ковша. Запропоновано використання твердоміра NOVOTEST Т-УД2 для контролю твердості. Також запропоновано ультразвуковий дефектоскоп NOVOTEST УД3701 та обрано перетворювач до цього дефектоскопа для дослідження якості відновлюваного наплавленого шару.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ASM Handbook, Volume 6: Welding, Brazing, and Soldering. ASM International, 1993.
2. Schulz H. High-performance welding processes. — Cambridge: Woodhead Publishing, 2003.
3. Parrish G. Carburizing: Microstructures and Properties. — ASM International, 1999. (розділи про наплавлення і термообробку сталей)
4. ISO 16859-1:2015 Metallic materials — Leeb hardness test — Part 1: Test method.
5. Голякевич О. А., Орлов Л. Н., Малінов Л. С., Титаренко Ст. І. Досвід застосування електродугового наплавлення порошковим дротом на підприємствах України // Автоматичне зварювання. 2016. № 9. С. 37–41.
6. ДСТУ EN 13586:2018 Крани. Кранові колеса і рейкові шляхи. Вимоги до проектування і виготовлення.
7. Funktionskosten-Analyse – [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://meport.net/index.php?content=./lo_met_mngt/method_body_short_info.php&methodId=a8decbbfbfdeb007ed552d5143c947dcd&versionId=ae196ca4f4a36406db9f3beb2c852ba7&displayMode=show (Дата звернення 15.05.2023)
8. Мацюк І.М. Аналіз плоского важільного механізму. Методичні вказівки до виконання домашнього завдання з ТММ для студентів, що навчаються за освітньою програмою «Промислова естетика і сертифікація виробничого обладнання» спеціальності 132 «Матеріалознавство» / І.М. Мацюк, Е.М. Шляхов; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2019. – 40 с.
9. Петраш В.Г., Руденко В.П. Відновлення та зміцнення деталей машин: навчальний посібник. — Харків: НТУ "ХП", 2008.
10. Fusion 360: Tutorial: Shape optimization analysis – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?guid=SIM-SHAPE-OPTIMIZATION> (Дата звернення 15.05.2023)

11. Кириллов В.М. Технологія ремонту машин: Підручник. — К.: Вища школа, 2004.

12. ДСТУ 3799-98 Рейки залізничні вузької колії типів Р18 та Р24. Загальні технічні умови. – Затверджено і введено в дію наказом Держстандарту України від 5 листопада 1998 р. № 891

14. Сучасні технології відновлення деталей машин / за ред. В.С. Берліна. – К.: Либідь, 2007.

15. What is hardness testing? – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.metalinspeclabs.com/post/what-is-hardness-testing> (Дата звернення 06.06.2023)

16. Твердомір комбінований Т-УД2 – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://novotest.ua/ua/katalog-priborov/tverdomer-kombinirovannyj-t-ud2.html> (Дата звернення 06.06.2025)

17. Сусліков Л. М., Студеняк І. П. Неруйнівні методи контролю : навч. посіб. / рец. : П. П. Пуга, І. І. Небола – Ужгород : Говерла, 2016. – 192 с.

18. Ультразвуковий дефектоскоп NOVOTEST УД3701 – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://novotest.ua/ua/ultrazvukovyetolshinometry/ultrazvukovoi-defektoskop-ud3701.html> (Дата звернення 06.06.2025)