

Лаврик В.П., Суглобов В.В., Шишкін В.В., Горячун В.В.

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МАГНІТНИХ ТА ВАКУУМНИХ ЗАХВАТНИХ ПРИБОРІВ У ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ КОРОБЧАСТИХ БАЛОК КРАНІВ

У статті розглянуто актуальні питання транспортування листового прокату під час виготовлення металокопункцій мостових кранів коробчастого типу, зокрема на етапах заготівельних і складально-зварювальних операцій. Показано, що ефективність і якість формування елементів металокопункцій значною мірою залежать від обраного способу захоплення та переміщення листового матеріалу. Проведено аналіз існуючих методів транспортування листів, зосереджуючи увагу на особливостях застосування електромагнітних захоплювачів у виробничих умовах. Встановлено експлуатаційні обмеження використання магнітних хватних пристроїв при роботі з листовим прокатом товщиною 10-14 мм, що зумовлено зниженням жорсткості листів та нерівномірністю розподілу магнітного поля.

Визначено основні дефекти, які виникають під час транспортування листів магнітним способом, а саме: залишкова намагніченість матеріалу, що негативно впливає на стабільність процесу зварювання та якість зварних з'єднань; «ефект провисання» листів, який призводить до появи пластичних деформацій і відхилень від геометричних розмірів; а також злипання окремих листів між собою, що ускладнює подальші технологічні операції та знижує продуктивність виробництва. Показано, що зазначені недоліки можуть спричинити додаткові витрати на виправлення дефектів і погіршувати якість поверхні та геометрії заготівель.

Обґрунтовано доцільність впровадження вакуумних хватних пристроїв як альтернативного способу транспортування тонколистового прокату. Запропоновано використання вакуумних захоплювачів з деталями овальної форми, які забезпечують рівномірний розподіл навантаження по поверхні листа, зменшують локальні напруження та виключають намагнічування матеріалу. Застосування таких захоплювачів сприяє підвищенню якості заготівельних операцій, збереженню геометричної точності деталей та підвищенню надійності зварних з'єднань у металокопункціях мостових кранів.

**Ключові слова:** мостовий кран, коробчаста балка, листовий метал, магнітний захват, вакуумний захват, залишкова намагніченість, локальні напруження.

**Постановка проблеми.** Сучасне кранобудування розвивається у напрямку зниження металоємності конструкцій при збереженні їхньої вантажопідйомності та надійності. Для мостових кранів це досягається широким використанням коробчастих прогонових балок, стінки яких виготовляються з листового прокату. Тенденція до оптимізації ваги змушує конструкторів застосовувати листи меншої товщини, що створює нові технологічні виклики на етапі заготівельних та складальних операцій.

Традиційним засобом механізації транспортування листів на машинобудівних підприємствах є електромагнітні захоплювачі. Вони ефективні для товсто листового прокату, однак при роботі з листами товщиною до 10-14 мм виявляють низку критичних недоліків. Залишкова намагніченість крайок металу негативно впливає на стабільність зварювальної дуги («магнітне дуття») і якості з'єднання, а недостатня жорсткість тонкого листа призводить до його провисання та залишкових деформацій під час переміщення. Це зумовлює

## Машинобудування і зварювальне виробництво

необхідність пошуку альтернативних методів фіксації, які забезпечили б делікатне транспортування без пошкодження геометрії та фізичних властивостей металу.

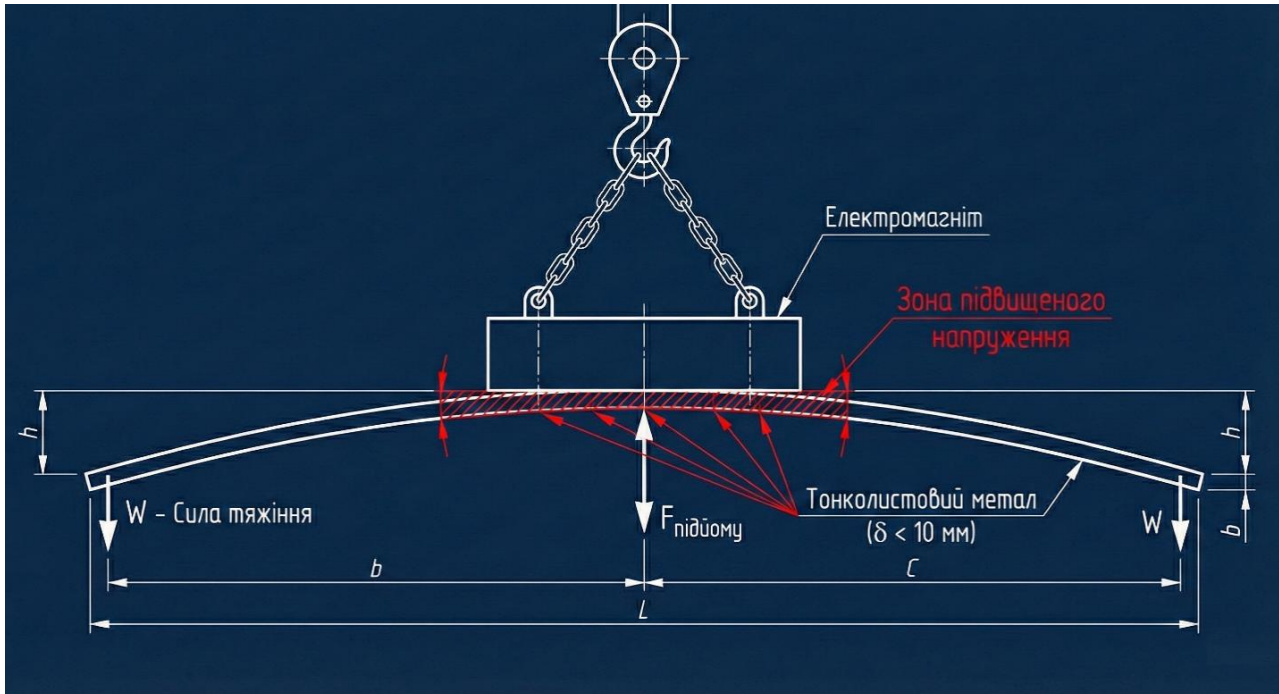


Рисунок 1 – Схема прогину тонкого листа при використанні центрального магнітного захвату

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Фундаментальні питання проектування та розрахунку вантажозахоплювальних органів підійомно-транспортних машин висвітлено у працях [1-3]. У цих роботах детально описано методика розрахунку електромагнітних та вакуумних систем, проте основний акцент зроблено на забезпеченні вантажопідйомності та коефіцієнтів запасу міцності для товсто листового прокату, що був характерним для металокопункцій минулих десятиліть.

Сучасні аспекти автоматизації захватних операцій розглядаються у дослідженнях [4- 5], які проводили порівняльну оцінку ефективності різних типів захватів для рулонних вантажів. Проте ці дослідження не враховують специфіку довгомірних плоских елементів із низькою власною жорсткістю.

Значний обсяг практичних даних міститься у технічній документації провідних світових виробників кранового обладнання – Demag Cranes & Components, Koncranes та Tigrip (Yale) [6]. У їхніх каталогах широко представлені магнітні траверси, однак виробники вказують на технологічні обмеження при роботі з листами малої товщини (менше 10 мм) через ризик неповного магнітного насичення та провисання країв вантажу.

Таким чином, попри наявності широкої теоретичної бази, питання впливу методу транспортування на геометричну точність тонкостінних заготовель для коробчастих балок та подальшу якість їх зварювання залишається недостатньо вивченими, що й зумовлює актуальність даної роботи.

**Мета дослідження.** Метою роботи є проведення порівняльного аналізу експлуатаційних характеристик магнітних та вакуумних захватних пристроїв для визначення раціональної області їх застосування при виготовленні елементів металокопункцій кранів коробчастої форми.

## Машинобудування і зварювальне виробництво

**Основний матеріал дослідження.** У сучасному кранобудуванні електромагнітні та постійні магнітні захоплювачі є домінуючим видом вантажозахоплювальних органів для переміщення феромагнітних матеріалів. Їхня популярність зумовлена швидкістю стропування (відсутність ручної праці стропальників) та високою вантажопідйомністю при роботі з сортовим прокатом та слябами. Однак специфіка виготовлення коробчастих балок мостових кранів висуває підвищені вимоги до якості поверхні та геометрії заготовель, що виявляє низку суттєвих недоліків магнітного способу. Тому необхідно провести аналіз технологічних особливостей та обмежень використання магнітних захоплювачів

Ефективність роботи електромагніту базується на замиканні магнітного потоку через тіло вантажу. Сила притягання прямо пропорційна квадрату магнітної індукції та площі контакту. Для реалізації номінальної вантажопідйомності магнітний потік повинен повністю «вміститися» у поперечному перерізі листа. При роботі з тонколистовим металом (за даними промислового досвіду підприємств, таких як ТОВ «Завод Кранкомплект» та ТОВ НВК «Технологія підйому», критичною є товщина менша за 10-14 мм) настає явище магнітного насичення сталі. Переріз листа стає недостатнім для проходження всього магнітного потоку, що призводить до різкого падіння сили утримання. Як наслідок, для надійного утримання тонких листів необхідно зменшувати крок розстановки магнітів на траверсі, що значно здорожує конструкцію та збільшує власну вагу захватного пристрою.

Найбільш критичним дефектом, на який вказують технологи зварювального виробництва, є залишкова намагніченість заготовель після транспортування. Сталі, що використовуються для металоконструкцій кранів (наприклад, 09Г2С), мають певну коерцитивну силу, зберігаючи магнітний потенціал після вимкнення електромагніту.

При подальшому автоматичному зварюванні поясних швів коробчастої балки виникає явище «магнітного дуття» – відхилення зварювальної дуги під дією власного магнітного поля та залишкового поля деталі. Це призводить до таких дефектів зварного шва:

- непровари кореня шва;
- бризки розплавленого металу;
- порушення геометрії катета шва.

Усунення цього недоліку вимагає додаткової технологічної операції — розмагнічування, що збільшує час виробничого циклу.

Крім магнітних ефектів, використання жорстких металевих поверхонь магнітів призводить до механічних пошкоджень:

- дряпання та наклеп: при позиціюванні магніту на поверхню листа виникає ударне навантаження. Якщо поверхня металу або магніту забруднена (стружка, окалина), виникають подряпини та вм'ятини, які є концентраторами напружень.

- захоплення «пакету»: при роботі з листами товщиною 4-6 мм магнітне поле може проникати крізь верхній лист і захоплювати наступний. Це створює аварійну ситуацію, коли нижній лист може відірватися під час транспортування на висоті.

- деформація провисання: як було показано на рис. 1, точкова фіксація магнітами не забезпечує рівномірного розподілу навантаження, що для довгих листів (стінок балок довжиною до 20-30 м) призводить до пружних та пластичних деформацій. До недоліків магнітного захвату слід віднести:

- зниження надійності за наявності зазорів і забруднень;
- ризик падіння вантажу при відключенні живлення (для електромагнітів без резервного живлення).

Аналіз недоліків магнітних систем, дозволяє сформулювати основні вимоги до альтернативного способу захоплення: відсутність впливу на кристалічну решітку металу, рівномірний розподіл навантаження та здатність працювати з тонкими (до 10 мм) листами без

## Машинобудування і зварювальне виробництво

деформацій. Цим вимогам повною мірою відповідають вакуумні захватні пристрої з еластомірними елементами.

На відміну від магнітного поля, яке пронизує структуру металу, вакуумний захват взаємодіє виключно з поверхнею. Принцип дії та технологічні переваги вакуумного захвату полягають у наступному. Утримання вантажу відбувається за рахунок різниці тисків: атмосферного зовні та розрідження (вакууму) всередині камери присоски (рис. 2).

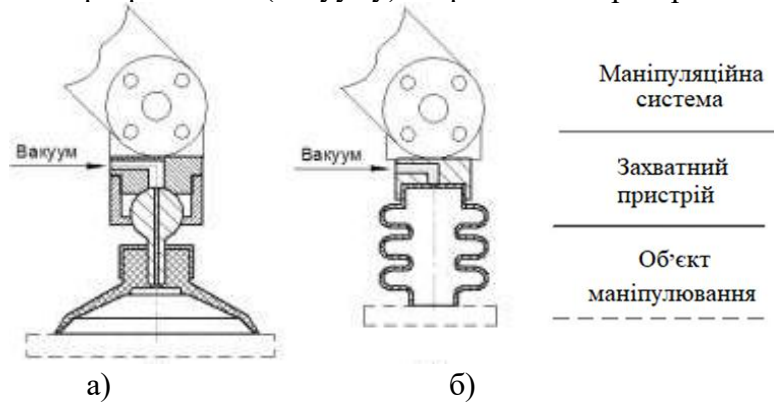


Рисунок 2 – Принципова схема дії вакуумного захватного пристрою  
а – пристрій з еластичною вакуумною камерою; б – пристрій з сільфонною камерою

Ключова перевага для технології зварювання полягає у фізичній нейтральності методу. Вакуум не створює електромагнітних полів, тому явище «магнітного дуття» при подальшому зварюванні повністю виключається. Це дозволяє відмовитися від операції розмагнічування та гарантує стабільність зварювальної дуги (рис. 3).

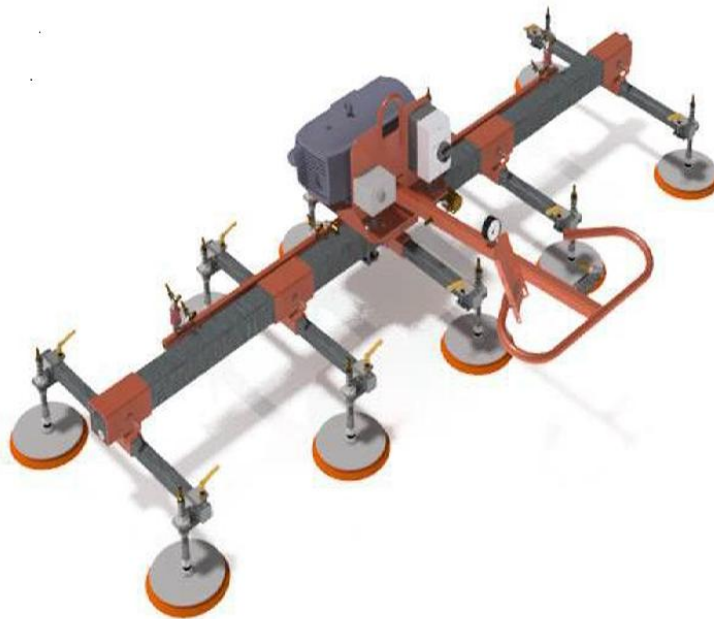


Рисунок 3 – Вакуумна підвісна система для транспортування сталевих листів

## Машинобудування і зварювальне виробництво

Ефективність вакуумного захвату критично залежить від матеріалу ущільнення (присоски). При використанні технології вакуумного захвату необхідно виконати обґрунтування матеріалу контактних елементів. У промислових умовах кранобудування, де можлива наявність масляної плівки на металі та абразивних частинок, стандартна гума (NBR) швидко втрачає еластичність і зношується.

Проведений порівняльний аналіз матеріалів показує переваги використання поліуретанових еластомерів (PU):

- зносостійкість: у 3-5 разів вища, ніж у гуми, що критично важливо при інтенсивних циклах «захоплення - відпускання»;
- відновлення форми: поліуретан має низьку залишкову деформацію, швидко повертаючись до початкової геометрії після зняття навантаження;
- коефіцієнт тертя: високий коефіцієнт тертя поліуретану забезпечує надійну фіксацію листа від бокового зміщення (зсуву) під час динамічних навантажень (розгін та гальмування крана).

Специфікою коробчастих балок є використання довгих вузьких листів (смуг) для стінок та поясів. Тому необхідно провести геометричну оптимізацію контактних елементів. Використання традиційних круглих присосок у цьому випадку є неефективним, оскільки їх діаметр обмежений шириною заготівель. Застосування овальних присосок дозволяє вирішити цю проблему завдяки анізотропії їхньої форми (рис. 4).

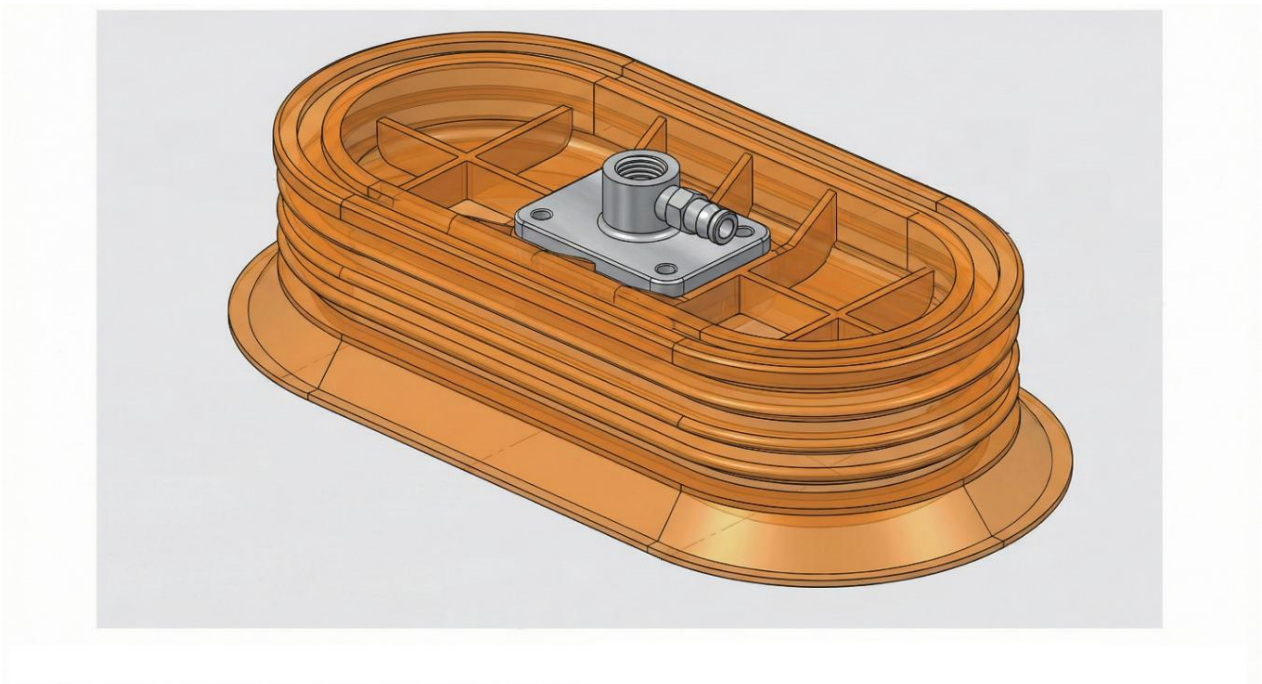


Рисунок 4 – Загальний вигляд овальної вакуумної присоски для довгомірних вантажів

Така геометрія дозволяє:

1. Максимізувати площу контакту: овальні присоски, орієнтовані довгою віссю вздовж листа, забезпечують більшу вантажопідйомність на вузькій смужі металу.
2. Зменшити прогин: овальна форма дозволяє «розтягнути» зону захоплення, зменшуючи локальні напруження в точці контакту.

## Машинобудування і зварювальне виробництво

Таким чином, комбінація вакуумного принципу дії, зносостійкого поліуретану та овальної геометрії створює систему, що нівелює недоліки магнітних захоплювачів при роботі з тонколистовим прокатом [6].

Для визначення доцільності впровадження вакуумних захватних пристроїв на ділянках заготівлі та складання металоконструкцій проведено порівняльний аналіз із традиційними електромагнітними системами. Порівняння виконувалось за двома групами критеріїв: технологічними (вплив на якість продукції) та економічними (витрати на експлуатацію).

Результати зведеного аналізу наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльний техніко-економічний аналіз\*

Критерій порівняння	Електромагнітний захват	Вакуумний захват (овальні PU-присоски)
<b>1. Надійність утримання тонкого листа</b>	<b>Низька.</b> При $\delta < 10$ мм магнітний потік насичується, сила притягання падає на 30 - 50%.	<b>Висока.</b> Сила утримання залежить лише від площі присоски і вакууму, не залежить від товщини листа.
<b>2. Деформація заготовки (провисання)</b>	<b>Значна.</b> Точкове прикладання сили по центру викликає прогин країв під власною вагою.	<b>Відсутня / Мінімальна.</b> Багатоточкова система присосок рівномірно розподіляє навантаження по площині.
<b>3. Вплив на зварювання</b>	<b>Негативний.</b> Залишкова намагніченість викликає «магнітне дуття», пористість швів, розбрикування металу.	<b>Нейтральний.</b> Вакуум є діелектриком і не створює магнітних полів. Зварювальна дуга стабільна.
<b>4. Вимоги до поверхні</b>	Чутливий до іржі, окалини (повітряний зазор різко знижує силу). Нечутливий до мастила.	Чутливий до грубої іржі, але PU-еластомери компенсують мікронерівності. Допускається робота по замасленій поверхні (зі спеціальним протектором).
<b>5. Експлуатаційні витрати</b>	<b>Низькі.</b> Робоча поверхня металева, зношується повільно. Основні витрати – електроенергія.	<b>Середні.</b> Потребує періодичної заміни еластичних ущільнень (присосок). Однак PU служить у 3-5 разів довше гуми.
<b>6. Безпека праці</b>	При зникненні живлення вантаж падає (потрібні джерела безперебійного живлення).	Більш безпечний. При зникненні живлення вакуум у ресивері утримує вантаж протягом 15-20 хв.

\*Порівняльна характеристика захватних пристроїв для листового металу ( $\delta < 10-14$  мм)

## Машинобудування і зварювальне виробництво

Аналізуючи економічну ефективність застосування цих двох способів захоплення та транспортування металевих листів, слід зазначити, що хоча прямі експлуатаційні витрати на обслуговування магнітних захоплювачів є нижчими (відсутність змінних гумових елементів), прихована «вартість якості» робить їх використання збитковим для тонколистових конструкцій. Впровадження вакуумних захоплювачів дозволяє виключити з технологічного процесу такі витратні операції: розмагнічування заготівель; правку (рихтування) листів після деформації при транспортуванні; ремонт зварних швів, дефектних через магнітне дуття.

### ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що використання традиційних електромагнітних захоплювачів при виготовленні коробчастих балок мостових кранів має критичні обмеження при роботі з листовим прокатом товщиною менше 10 мм. Основними проблемами є фізичне явище магнітного насичення, що знижує надійність утримання, та виникнення залишкової намагніченості, яка негативно впливає на якість зварювальних робіт.

2. Обґрунтовано доцільність переходу на вакуумні хватні системи як альтернативу, що забезпечує делікатне транспортування без деформацій та магнітного впливу, ризик падіння вантажу при відключенні живлення (для електромагнітів без резервного живлення).

3. На основі порівняльного аналізу доведено перевагу використання овальних присосок із поліуретанових еластомерів. Овальна форма дозволяє ефективно використовувати площу вузьких довгомірних листів, а поліуретан забезпечує високу зносостійкість (у 3-5 разів вищу за гуму) та надійну фіксацію за рахунок високого коефіцієнта тертя.

4. Впровадження запропонованого способу транспортування дозволяє підвищити надійність виготовлення металоконструкцій шляхом ліквідації дефектів зварних з'єднань, викликаних магнітним дуттям, та збереження геометричної точності заготівель.

### Список використаних джерел

1. Analysis of various approaches to modeling of dynamics of lifting-transport vehicles / O. Grigorov, E. Druzhynin, G. Anishchenko, M. Strizhak, V. Strizhak // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – Vol. 7. – No. 4.3. – pp. 64-70. doi: 10.14419/ijet.v7i4.3.19553

2. М. П. Ремарчук. Рішення задач на основі використання системного аналізу і знань про закон зміни стану об'єкта дослідження // Збірник наукових праць «Підйомно-транспортні, будівельні та вантажно-розвантажувальні машини». – 2014. – Вип. 148. С. 86-94. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.148.2014.72770>

3. B. Zhang, Y. Xie, J. Zhou, K. Wang, Z. Zhang. State-of-the-art robotic grippers, grasping and control strategies, as well as their applications in agricultural robots: A review. Computers and Electronics in Agriculture. – 2020. - P. 177-191, art. no. 105694. doi.org/10.1016/j.compag.2020.105694

4. Р. П. Погребняк. Рациональний кінематичний синтез і структурний аналіз центрального прямолінійно-напрямного кривошипно-повзункового механізму захоплювального пристрою. Підйомно-транспортна техніка. - 2023. - № 1(68). - С. 56–70. doi.org/10.15276/pidtt.1.68.2023.05

5. Дослідження умов експлуатації фронтальних навантажувачів / І.О.Нефьодов, В. П. Лаврик, В. В. Суглобов. Наука та виробництво: міжвуз. темат. зб. наук. пр. Вип. 29 /

ДВНЗ «ПДТУ». – Дніпро, ПДТУ, 2025. с. 116-122. <https://doi.org/10.31498/2522-9990292025330264>

6. R. W Clough, C. P. Johnson A finite element approximation for the analysis of thin shells. International Journal of Solids and Structures. 1968. Vol. 4, Issue 1. P. 43–60. DOI:10.1016/0020-7683(68)90032-2.

**Lavryk V.P., Suhlobov V.V., Shishkin V.V., Horiachun V.V.**

## **COMPARATIVE ANALYSIS OF MAGNETIC AND VACUUM GRIPPING DEVICES IN THE TECHNOLOGY OF MANUFACTURING BOX-TYPE CRANE GIRDERS**

*The article addresses current issues of transporting sheet metal during the manufacture of metal structures for box-type bridge cranes, particularly at the stages of blank preparation and assembly-welding operations. It is shown that the efficiency and quality of forming metal structure elements largely depend on the selected method of gripping and moving the sheet material. An analysis of existing sheet-transport methods is carried out, with a focus on the specific features of using electromagnetic gripping devices under production conditions. Operational limitations of magnetic gripping devices when handling sheet metal with a thickness of 10-14 mm are identified, which are caused by reduced sheet stiffness and uneven distribution of the magnetic field.*

*The main defects that occur during magnetic transportation of sheets are determined, namely: residual magnetization of the material, which negatively affects the stability of the welding process and the quality of welded joints; the “sagging effect” of sheets, which leads to plastic deformations and deviations from geometric dimensions; as well as the sticking of individual sheets to each other, which complicates subsequent technological operations and reduces production productivity. It is shown that these disadvantages may cause additional costs for defect correction and deteriorate the surface quality and geometry of the blanks.*

*The feasibility of implementing vacuum gripping devices as an alternative method for transporting thin sheet metal is substantiated. The use of vacuum grippers with oval-shaped elements is proposed, ensuring uniform load distribution over the sheet surface, reducing local stresses, and eliminating material magnetization. The application of such grippers contributes to improved quality of blank-preparation operations, preservation of geometric accuracy of parts, and increased reliability of welded joints in bridge crane metal structures.*

**Keywords:** bridge crane, box girder, sheet metal, magnetic gripper, vacuum gripper, residual magnetization, local stresses.

*Стаття надійшла 20.02.2026р.*

*Стаття прийнята 25.02.2026р.*

*Стаття опублікована 30.04.2026р.*