

**УДК 621.791.927.5**

**Валерій Перемітько, д.т.н., професор, Ігор Коломоєць, PhD, доцент, Сергій Плітченко, к.т.н., доц.; Михайло Чумак, аспірант, Денис Драничер, здобувач вищої освіти першого рівня**

**Дніпровський державний технічний університет, Україна**

## **КОНСТРУКЦІЯ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ НАПЛАВЛЕННЯ ТОНКОСТІННИХ ДЕТАЛЕЙ**

**Анотація:** У роботі розглянуто актуальну проблему відновлення та зміцнення тонкостінних деталей методом наплавлення, що ускладнюється виникненням теплових деформацій, нестабільністю геометрії та труднощами керування формуванням наплавленого шару. Проведено аналіз існуючих технологічних рішень і встановлено їх обмеження, зокрема недостатній контроль геометрії шару, складність конструкцій та обмежені технологічні можливості.

Запропоновано нові конструктивно-технологічні рішення, що базуються на поєднанні керованого теплового циклу, механічної стабілізації та засобів формоутворення. Розроблені пристрої включають індукційні нагрівачі, системи примусового охолодження та спеціалізовані формувальні вузли, зокрема канавки й притискні елементи, які забезпечують локалізацію розплаву та стабільність геометрії. Окрему увагу приділено пристрою для наплавлення по кромці диска з реалізацією обертального руху та керованого формоутворення, що дозволяє виконувати багат шарове наплавлення і регулювати геометричні параметри виробу.

Впровадження запропонованих рішень забезпечує зменшення теплових деформацій, підвищення точності формування наплавленого шару та розширення технологічних можливостей процесу, що сприяє підвищенню ресурсу деталей і ефективності виробництва.

**Ключові слова:** тонкостінні деталі, наплавлення, теплові деформації, жолоблення, геометрична стабільність, формування наплавленого шару, індукційний нагрів, примусове охолодження, формоутворення, притискні елементи, роликові вузли, формувальна канавка, обмежувальна камера, наплавлення по кромці, дискові деталі, багат шарове наплавлення, керування тепловим циклом, локалізація розплаву, якість наплавлення, відновлення деталей

**Valerii Peremitko, D.Sc., Professor, Ihor Kolomoiets, PhD, Associate Professor, Serhii Plitchenko, PhD, Associate Professor, Mykhailo Chumak, Postgraduate Student, Denys Dranycher, first-level higher education student**

**Dnipro State Technical University, Ukraine**

## **DESIGN AND OPERATING PRINCIPLE OF DEVICES FOR HARD-FACING OF THIN-WALLED PARTS**

**Abstract:** The paper addresses the relevant problem of restoration and strengthening of thin-walled parts by hard-facing, which is complicated by the occurrence of thermal deformations, geometric instability, and difficulties in controlling the formation of the deposited layer. An analysis of existing technological solutions has been carried out, revealing their limitations, including insufficient control of layer geometry, structural complexity, and restricted technological capabilities.

New design and technological solutions are proposed, based on the integration of a controlled thermal cycle, mechanical stabilization, and forming means. The developed devices include induction heaters, forced cooling systems, and specialized forming units, in particular

grooves and clamping elements, which ensure melt localization and geometric stability. Special attention is given to a device for edge hard-facing of disk components, implementing rotational motion and controlled shaping, which enables multilayer deposition and regulation of geometric parameters of the product.

The implementation of the proposed solutions ensures a reduction in thermal deformations, improves the accuracy of deposited layer formation, and expands the technological capabilities of the process, thereby contributing to increased service life of components and overall production efficiency.

**Keywords:** thin-walled parts, hard-facing, thermal deformations, warping, geometric stability, deposited layer formation, induction heating, forced cooling, forming, clamping elements, roller units, forming groove, confinement chamber, edge hard-facing, disk components, multilayer deposition, thermal cycle control, melt localization, deposition quality, component restoration

Однією з актуальних задач сучасного зварювального виробництва є відновлення та зміцнення тонкостінних деталей шляхом наплавлення [1, 2]. Основна складність полягає у високій схильності таких виробів до теплових деформацій, жолоблення та нестабільності геометрії в процесі локального нагріву. Додатково ускладнює ситуацію необхідність точного контролю товщини наплавленого шару та забезпечення рівномірності його формування, особливо при обробці наплавленням торців або при необхідності збільшення діаметра деталі. Існуючі технологічні рішення не забезпечують достатньої керованості процесу, що обмежує їх ефективність і якість отриманих виробів.

Аналіз відомих технічних рішень показує, що більшість пристроїв для наплавлення тонкостінних деталей базуються на використанні індукційного нагріву, притискних елементів та систем охолодження. Разом із тим, такі конструкції мають ряд суттєвих недоліків. Зокрема, відсутній ефективний механізм керування геометрією наплавленого шару, що призводить до нерівномірного розтікання розплаву під дією гравітаційних та поверхневих сил. Частина пристроїв обмежена можливістю обробки лише прямолінійних ділянок або вимагає попередньої механічної підготовки поверхні. Інші рішення характеризуються конструктивною складністю, значними витратами часу на налаштування та обслуговування, а також недостатнім контролем температурного режиму. Прототипи, незважаючи на часткове вирішення задачі стабілізації процесу, не забезпечують можливості керованого формування шару по кромці та нарощування геометричних розмірів деталей.

У представленій роботі запропоновано нові конструктивно-технологічні рішення для наплавлення тонкостінних деталей, які базуються на поєднанні керованого теплового циклу, механічної стабілізації та формоутворення наплавленого шару (рис.1). Розроблені пристрої оснащені індукційними нагрівачами, системами примусового охолодження та спеціалізованими вузлами формоутворення, що забезпечують локалізацію розплаву та контроль його геометрії.

Пристрій для наплавлення тонкостінних деталей плоскої форми (рис.1 а) включає станину 1 з мідною примусово охолоджуваною основою, оснащеною каналами для циркуляції охолоджувальної рідини. На станині розміщено формувальну канавку 2 та індукційний нагрівач 3. На станині встановлена обмежувальна камера 4 з можливістю поперечного переміщення відносно осі руху деталі 5. Камера має виріз 6 для дії джерела нагріву. По обидва боки вирізу розташовані контактні роликів притискачі: вхідний конічний 7 і вихідний циліндричний 8, виконані з високо теплопровідного та зносостійкого матеріалу. Конічний притискач 7 встановлено під кутом 10...15° до поверхні деталі, що забезпечує оптимальний контакт, ефективний

теплообмін із охолоджуваною основою та стабільне підгинання заготовки. Зменшення кута ( $<10^\circ$ ) погіршує притиск і теплообмін, збільшення ( $>15^\circ$ ) призводить до надмірного тертя та можливого блокування переміщення деталі.

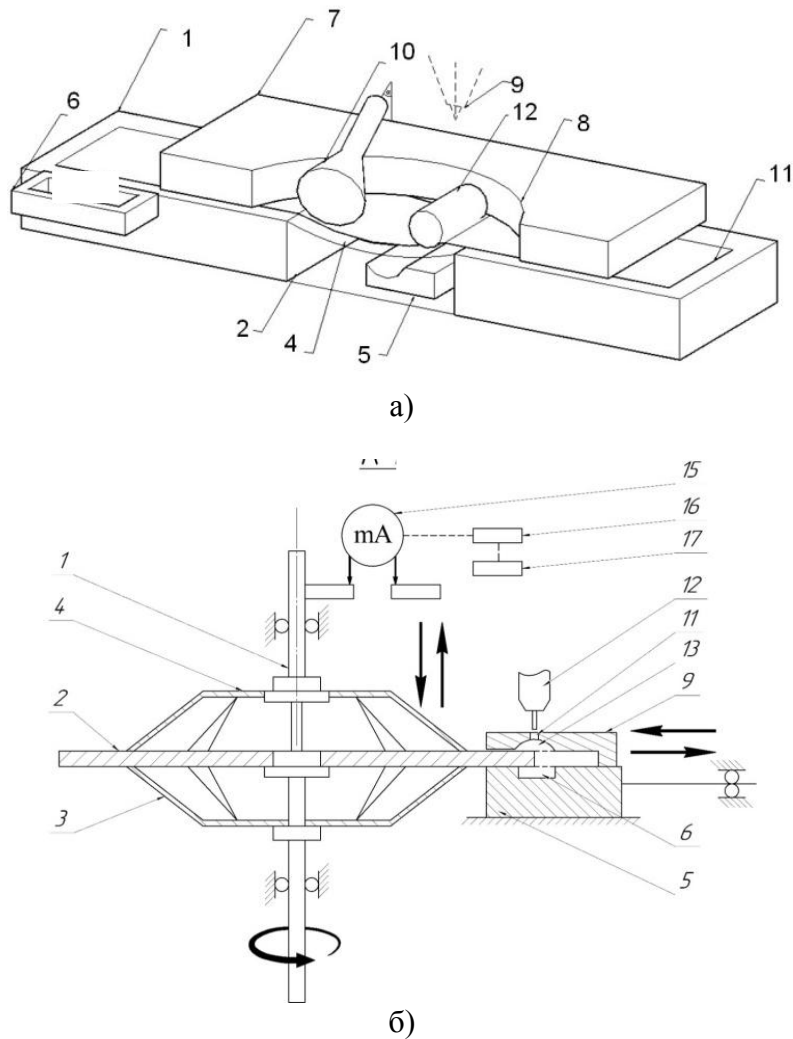


Рисунок 1. Схеми пристроїв для наплавлення тонкостінних деталей: а) плоскої форми; б) дискової форми

Ключовою особливістю є використання формувальної канавки та притискних елементів (зокрема роликів), які забезпечують стабілізацію положення деталі, покращення теплообміну та запобігання деформаціям. Удосконалена конструкція передбачає наявність обмежувальної камери з регульованим положенням, що дозволяє адаптувати процес до різної товщини виробів і концентрувати тепловий вплив у необхідній зоні.

Окремим напрямом є розробка пристрою для наплавлення по кромці диска, в якому реалізовано обертотий рух деталі та незалежний вузол формоутворення з можливістю радіальних і вертикальних переміщень. Це дозволяє виконувати багатшарове наплавлення, керовано змінювати товщину та діаметр виробу, а також формувати наплавлені валики по колу і по торцю. Введення системи керування з датчиком завершення циклу забезпечує синхронізацію процесів нагріву, обертання та

подачі матеріалу, що покращує якість формування кінцевих ділянок шва та знижує ймовірність дефектів.

Пристрій для наплавлення деталей дискової форми (рис.1 б) містить обертач 1 для диска 2, виконаний у вигляді вертикального шпинделя. Посадка диска здійснюється через вал на нижню таріль 3 та фіксується верхньою таріллю 4. Обидві тарілі виконані розсувними по горизонталі, що забезпечує адаптацію до різних діаметрів дисків, регулювання зони притискання та опори. Пристрій оснащено вузлом формоутворення, що складається з нижньої частини 5 з формувальною канавкою 6, індуктором 7 та примусовим охолоджувальним сегментом 8, а також верхньої частини 9 у вигляді камери з підвідним патрубком 10 для подачі захисного газу та пазом 11 для дії джерела нагріву 12. Верхня частина 9 має регулювання по висоті для адаптації до товщини диска та багатошарового наплавлення. На верхній частині 9 виконано округлу виточку 13, узгоджену з профілем наплавленого валика. Верхня та нижня частини вузла з'єднані скобою 14. Формувальна канавка 6 забезпечує додаткову опору при наплавленні або приварюванні торцевих елементів, сприяє щільному притисканню вузла до диска та зменшенню термічних деформацій, а також підвищує ефективність газового захисту зони нагріву.

У сукупності запропоновані технічні рішення забезпечують зменшення теплових деформацій, підвищення стабільності геометрії наплавленого шару та розширення технологічних можливостей процесу. Це створює передумови для підвищення ресурсу деталей, ефективного використання матеріалів та адаптації технології до широкого спектра виробничих задач.

#### Перелік посилань

1. Experimental comparison of abrasive and erosive wear characteristics of four wear-resistant steels / A. Jafari et al. *Wear*. 2018. Vol. 416-417. P. 14–26. URL: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2018.09.010>
2. Wahlström J., Olander L., Olofsson U. Size, Shape, and Elemental Composition of Airborne Wear Particles from Disc Brake Materials. *Tribology Letters*. 2009. Vol. 38, no. 1. P. 15–24. URL: <https://doi.org/10.1007/s11249-009-9564-x>.
3. Пристрій для наплавлення тонкостінних деталей : пат. 93288 Україна : B23K13/00. № а200905554; заявл. 01.06.2009 ; опубл. 25.01.2011, Бюл. № 23/2010.
4. Пристрій для наплавлення плоских тонкостінних деталей : пат. 55346 Україна : B23K13/00. № 3882277; заявл. 15.04.1985 ; опубл. 17.03.2003, Бюл. № 3/2003.
5. Пристрій для наплавлення тонких фасонних дисків: пат. 152210 Україна : B23K13/00, B23K101/00. № u202200783; заявл. 21.02.2022; опубл. 05.01.2023.
6. Пристрій для наплавлення тонких фасонних дисків: пат. 59994 Україна : B23K13/00. № u201013152; заявл. 05.11.2010 ; опубл. 10.06.2011.