

СТАБІЛІЗАЦІЯ КОНФІГУРАЦІЇ КРОМОК ТОНКОСТІННИХ ДЕТАЛЕЙ
ПРИ ЇХ НАПЛАВЛЕННІ АБО ЗВАРЮВАННІ ПО ТОРЦЮ

Перемітько В.В.	д-р техн. наук, професор, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9032-6116 , e-mail: vperemitko1965@gmail.com ;
Коломоєць І.В.	PhD, доцент, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3650-2929 , e-mail: ikolomoyets94@gmail.com ;
Носов Д.Г.	канд. техн. наук, доцент, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1588-684X , e-mail: nosov_dstu@ukr.net ;
Чумак М.С.	аспірант, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське;
Давидюк А.В.	PhD, доцент, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, ORCID: https://orcid.org/0009-0004-3688-3455 , e-mail: anzhela8848@gmail.com

В роботі розглянуто проблему забезпечення геометричної стабільності та підвищення ресурсу тонкостінних деталей при наплавленні або зварюванні по кромці. Показано, що для таких елементів характерне поєднання інтенсивних термічних деформацій, високих залишкових напружень і швидкого зносу, що суттєво обмежує застосування традиційних технологій наплавлення. Проаналізовано умови експлуатації тонкостінних деталей, основні механізми їх зносу, а також існуючі конструктивні та технологічні рішення, спрямовані на зменшення деформацій. Виконано розрахунок потенційного прогину тонкостінної деталі зі сталі 9ХФ товщиною 4 мм при наплавленні за режимів MIG/MAG, який показав, що за відсутності фіксації величина залишкового вигину може досягати 23...25 мм, що є технологічно неприйнятним. Запропоновано конструкцію пристрою для наплавлення тонкостінних деталей, яка поєднує формувальну канавку, систему контактних роликів притискачів і мідну примусово охолоджувану основу. Обґрунтовано, що таке поєднання дозволяє змінити граничні умови закріплення, зменшити ексцентриситет дії усадочних сил, стабілізувати температурний режим і суттєво знизити деформації. Сформульовано гіпотези щодо адаптації запропонованого пристрою для наплавлення тонкостінних тіл обертання, зокрема дискових ножів, із урахуванням вимог до балансування та проблеми зварювання краєра.

Ключові слова: тонкостінні деталі; наплавлення по кромці; залишкові напруження; термічні деформації; прогин; роликів притискачів; формувальна канавка; примусове охолодження; тіла обертання; дискові ножі.

Постановка проблеми

У різних видах сучасної промисловості зростає потреба у підвищенні зносостійкості та довговічності тонкостінних деталей, що працюють в умовах високих механічних і теплових навантажень. Технології наплавлення дозволяють локально зміцнювати поверхні без повного нагрівання заготовки. Проте при нанесенні шару або виконанні шва по торцю тонкостінного елемента виникають значні термічні деформації, що призводять до викривлення та зміни геометрії. Ці ефекти обмежують застосування технології, особливо при виробництві деталей складної форми або з низькою теплопровідністю.

Тому актуальним є створення конструкцій пристроїв, які забезпечують контроль геометрії тонкостінної деталі під час її виготовлення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Знос є суттєвим фактором, який пришвидшує вихід тонкостінних деталей з ладу. Внаслідок невеликої товщини стінки, навіть незначне пошкодження поверхні може критично знизити несучу здатність конструкції. Для тонкостінних елементів, таких як дискові

ножі, що слугують для обробки матеріалів різних типів, фасонні диски агрегатів ґрунтообробної техніки особливо небезпечним є ерозійний механізм зносу [1-3]. Внаслідок тертя відбувається розхитування та вимивання матеріалу, тоді як ударна дія рідини, впроваджуючись у мікротріщини, діє подібно до клина, розсовуючи стінки і прискорюючи локальне руйнування. Це означає, що ерозія не просто викликає стоншення, а й створює нелінійний, прискорений механізм деградації.

Абразивний знос також є одним із найбільш критичних і шкідливих видів руйнування для тонкостінних елементів, зокрема для тих, що застосовуються під час переробки паперу, картону, деревини чи пластмас. Його негативний вплив пояснюється низькою взаємопов'язаних факторів. Насамперед, абразивні частинки діють як мініатюрні різці, вириваючи матеріал із поверхні леза та руйнуючи його мікроструктуру. Це спричиняє швидку втрату гостроти ріжучої кромки, що, у свою чергу, збільшує зусилля різання, навантаження на привід, підшипники і механізми, підвищує енергоспоживання та погіршує якість різку.

Унаслідок зносу замість чистого різання матеріал піддається рванню або пластичній деформації, що є

критичним при високих вимогах до точності обробки. Часте переточування призводить до стоншення леза, зниження його жорсткості та підвищеної схильності до вібрацій і деформацій, що зменшує надійність і безпеку експлуатації. Висока інтенсивність зносу зумовлює часті зупинки обладнання для обслуговування, скорочуючи ефективний ресурс ножів [4-6].



Рис. 1 – Жолоблення кромки при вільному накладанні валика

Крім того, в ряді робіт [7-8] зазначається, що для тонкостінних деталей характерне дуже швидке охолодження через високе співвідношення площі поверхні до об'єму (за винятком випадків попереднього підігріву). Швидкість охолодження безпосередньо впливає на ступінь розвитку супутніх процесів і зміну первісних властивостей металу. Дослідження показують, що забезпечення високої якості зварювання та максимальної продуктивності для заданої товщини виробу вимагає ретельного вибору режиму зварювання, оскільки навіть зміна швидкості нагріву може бути використана для зменшення небажаних структурних змін. Виникнення залишкових напружень в тонкостінних елементах негативно впливає на їх геометричні параметри. Це призводить до значного жолоблення (рис. 1 [9]), що особливо помітно під час наплавлення згаданих вище різальних або фасонних дисків, де навіть незначна асиметрія теплового поля може спричинити викривлення, що ускладнює подальші технологічні операції та знижує точність складання. У таких випадках необхідні спеціальні заходи: контролювання теплового циклу, використання притискачів, теплових пасток або інтенсивного керованого охолодження – для збереження геометрії та мінімізації залишкових деформацій.

Чимало рішень із запобігання даним проблемам пропонувалося в сфері зварювання та споріднених технологій. Відомі рішення у галузі наплавлення тонкостінних деталей передбачають використання систем охолодження, теплових екранів та індукторів спеціальної конфігурації.

Аналіз наявних технічних розробок свідчить, що існуючі конструкції обладнання для наплавлення тонкостінних дискових та кільцевих заготовок були

розроблені для вирішення схожих технологічних задач, хоча використовують різні інженерні підходи.

Відоме технічне рішення, описане у роботі [10], передбачає застосування двох кільцевих витків індуктора, розташованих у протифазі, а також використання теплових екранів для зменшення втрат тепла. Така компоновка сприяє більш рівномірному розподіленому нагріванню та підвищенню енергоефективності процесу. Однак у конструкції відсутні засоби, спрямовані на компенсацію деформацій, що виникають у тонкостінних деталях під час локального нагрівання. Через це геометрична стабільність заготовки залежить лише від її власної жорсткості, що може бути недостатнім у випадку малих товщин.

У розробці, наведеній у роботі [11], зроблено акцент на інтенсифікації тепловідводу: конструкція передбачає циркуляцію холодоагенту, тобто елемент примусового охолодження, який знижує пікові температури та впливає на формування структури наплавленого шару. Проте відсутність засобів стабілізації положення заготовки під час наплавлення обмежує можливість контролю залишкових деформацій, що є критично важливим для тонких дискових компонентів.

Конструкція пристрою для протидії деформаціям, що описана в роботі [12], включає в себе притискні плити з виточками, покриті теплоізоляційним матеріалом. Такий підхід забезпечує більш рівномірний розподіл зусиль та зниження локальних температурних градієнтів. Водночас конструкція характеризується підвищеною складністю та вимогливістю в експлуатації: необхідністю видалення шихти, контролем шлаковиділення та загальною трудомісткістю підготовчих операцій. Це обмежує її практичну застосовність у серійному або потоковому виробництві.

Перші способи, описані ще у класичних роботах з ремонту деталей сільськогосподарських машин, передбачали насипання порошкоподібного твердого сплаву на поверхню диска з його подальшим індукційним нагріванням понад температуру плавлення сплаву [13]. Такі технології забезпечують задовільну якість зміцненого шару, однак мають істотні недоліки – високі втрати електроенергії, утворення крупнозернистої структури та значні термічні деформації, які потребують додаткової операції механічного рихтування для відновлення плоскопаралельності дисків. Пізніше у роботах [14, 15] були запропоновані способи, що передбачають обертково-поступальне переміщення диска в момент початку плавлення порошку. Диск здійснює 10...60 циклів/хв із кутом повороту 0...90°. Таке механічне переміщення сприяє подрібненню структури наплавленого металу, зменшенню температурних градієнтів та стабілізації геометрії диска після охолодження. Експериментальні дослідження показали, що введення обертально-поступального руху дозволяє зменшити прогин диска приблизно на 20...25 %, а також підвищити рівномірність товщини наплавленого шару на 10...12 %.

Окремий напрям пов'язаний із розвитком технічних засобів для підвищення точності та

продуктивності наплавлення. Зокрема, розроблено установку, що містить стіл з кількома кільцевими індукторами, потужність яких пропорційна діаметру, та вертикально рухоми охолоджувальну плиту з прямокутними трубопроводами для примусового охолодження диска після формування наплавленого шару. Застосування кількох індукторів із різними рівнями температури дозволяє формувати керований температурний градієнт за радіусом диска, що знижує залишкові напруження та підвищує точність геометрії виробу.

У деяких випадках проблема підвищення ресурсу тонкостінних деталей може бути вирішена не суцільним наплавленням робочої поверхні, а приварюванням спеціальної кромки. Такий підхід доцільний тоді, коли основний знос зосереджений у вузькій приповерхневій зоні, тоді як об'єм матеріалу деталі зберігає достатню несучу здатність. Приварна кромка, виготовлена з більш зносостійкого або композиційного матеріалу, дозволяє локалізувати тепловий вплив, зменшити сумарне тепловкладення у тонкостінну заготовку та, відповідно, обмежити рівень залишкових деформацій. Крім того, геометрично сформована кромка може виконувати функцію технологічного компенсатора: її форма та положення задають напрямок пластичної деформації під час зварювання або наплавлення, що спрощує керування геометрією деталі та знижує вимоги до подальших правних операцій.

Отже, аналіз відомих рішень показує, що жоден із них не забезпечує комплексного усунення деформацій, ефективного відведення тепла та формування стабільної геометрії тонкостінної деталі під час наплавлення.

Мета статті

Метою роботи було удосконалення конструкції пристрою для наплавлення тонкостінних деталей таким чином, щоб конструктивні рішення сприяли мінімізації термічних деформацій та забезпеченню стабільної геометрії наплавленої поверхні.

Матеріали та методи

Конкретний технічний результат планувалося досягти шляхом інтеграції нових функціональних елементів у конструкцію: введення формувальної канавки у станині, застосування контактних роликів притискачів, оснащення пристрою системою примусового охолодження.

Очікується, що це дозволить стабілізувати температурний режим, зменшити теплові деформації та забезпечити керовану геометрію поверхні деталі, що, зрештою, підвищить ефективність наплавлення та якість кінцевого продукту.

За класичною методикою та згідно до схеми (рис. 2), наведеними в [16], було визначено ймовірну величину викривлення кромки та залишкових напружень для випадку пластини товщиною 4 мм зі сталі 9ХФ, на яку наплавляється валик шириною 20 мм, електродним дротом діаметром 1,2 мм, силою струму

100 А, напругою на дузі 20 В, швидкістю зварювання 35 м/год. Класичний випадок нагріву кромки пластини наведено на рисунку 1. Вихідні дані та результати розрахунків наведено в таблицях 1 та 2.

Таблиця 1

Вихідні дані до розрахунку

Параметр	Значення	Одиниці
Матеріал	Сталь 9ХФ	-
Товщина, t	4	мм
Ширина валика, w	20	мм
Процес	MIG/MAG	-
Сила струму, I	100	А
Напруга, U	20	В
Швидкість, v	35	м/год

Попередній оціночний розрахунок включав наступні етапи:

1. Розрахунок погонної енергії дугового процесу

$$q = \frac{I \cdot U \cdot 60}{v}$$

2. Визначення ширини зони пластичних деформацій (b_p) за експериментально аналітичними залежностями, подібними до методики Трочуна–Прохоренка, що враховують тепловклад, товщину δ та тип сталі. Для інструментальних сталей при $\delta \leq 4$ мм зона, що нагрівається до температур понад 700...750 °С, зазвичай становить 10...15 мм. Це відповідає областям, у яких формується пластичне скорочення, еквівалентне прикладеній поздовжній усадочній деформації.

3. Оцінка/розрахунок середньої усадочної деформації ε_p для тонких сталей при MIG/MAG-наплавленні лежить у межах 0,004...0,006. Усадочна сила на переріз штабика визначається як:

$$P_{yc} = E \cdot \delta \cdot b_p \cdot \varepsilon_p,$$

де E – модуль пружності, МПа;

b_p – ширина зони пластичних деформацій стискування (ЗПДС), мм;

ε_p – середня пластична деформація вільної усадки в ЗПДС, 0,0045...0,0055.

Оскільки валик наплавляється з відступом від краю, центр зони пластичних деформацій розташований поза нейтральною віссю перерізу. Ексцентриситет визначається геометрично залежно від висоти штабика h , ширини зони пластичних деформацій та відступу шва. Згинальний момент:

$$M = P_{yc} \cdot e,$$

де P_{yc} – усадкова сила, Н;

e – відстань від центру перерізу, мм.

Для елемента, що під час наплавлення лежить вільно (без жорсткого закріплення), поведінка відповідає моделі балки на двох опорах або, у спрощенні, вільно лежачої смуги довжиною L . Максимальна стріла вигину посередині:

$$f_{\max} = \frac{ML^2}{8EI},$$

де M – згинальний момент, Н·мм;

L – довжина штабика, мм;

I – момент інерції перерізу, визначається за формулою:

$$I = \frac{h\delta^3}{12}.$$

Ураховуючи термопружно-пластичні явища, отриманий прогин коригується:

$$f_{\text{реальне}} = f_{\max} \cdot k.$$

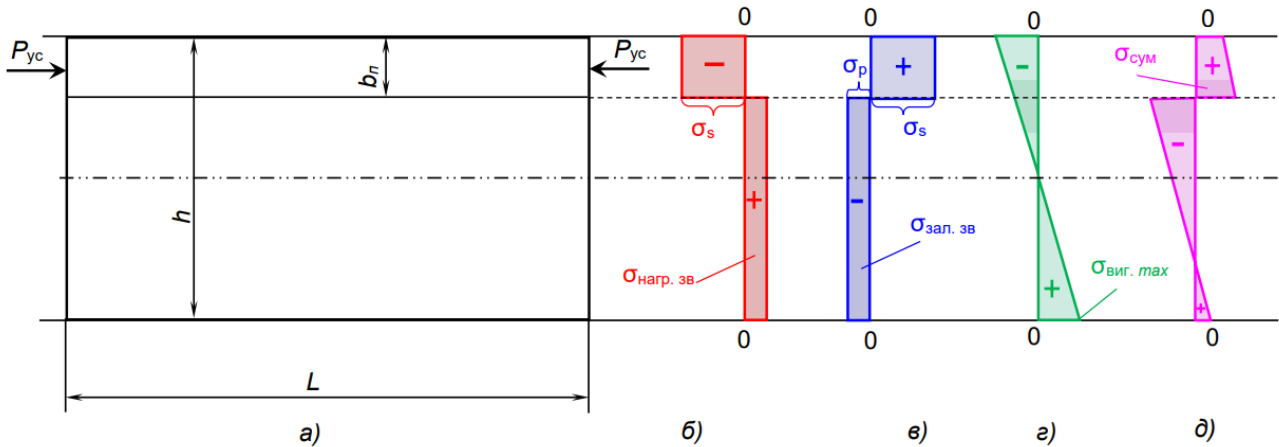


Рис. 2 – Схема розподілу залишкових напружень при нагріві краю пластини: а) загальний вигляд пластини; б) поздовжні напруження під час нагріву; в) поздовжні залишкові напруження; г) напруження від вигину; д) сумарні напруження

Таблиця 2

Результати розрахунків

Параметр	Позначення	Значення	Одиниці
Лінійна енергія	q	400	Дж/мм
Ефективна ширина ЗПДС	b_p	14	мм
Середня пластична усадка	ϵ_p	0,005	–
Модуль пружності (E)	E	210000	МПа
Усадочна сила (поздовжня)	P_{yc}	58 800	Н
Ексцентриситет центру ЗПДС від нейтральної осі	e	21.5	мм
Згинальний момент	M	1 264	Н·м
Момент інерції перерізу	I	266.67	мм ⁴
Максимальна теоретична стріла (вільний штабик)	f_{\max}	28.1	мм
Скоригована (реальна) стріла $k \approx 0.83$)	$f_{\text{реальне}}$	$\approx 23-25$	мм

Виклад основного матеріалу

Розрахункові дані показали, що при наплавленні одного поздовжнього валика по краю штабика розміром 100×50×4 мм зі сталі 9ХФ виникає значний залишковий вигин – близько 23...25 мм у середній частині. Така величина деформації є критичною для тонкостінних елементів, оскільки суттєво перевищує допустимі технологічні відхилення і фактично робить обробку або подальше складання неможливими без рихтування. Причина цього полягає у поєднанні великої поздовжньої усадки (приблизно 58,8 кН), значного ексцентриситету дії усадкової сили (21,5 мм) та малої жорсткості перерізу елемента, яка напряму залежить від значення товщини (4 мм).

У подібних випадках фіксувальні елементи є ключовим засобом зниження деформацій, оскільки вони змінюють граничні умови та частково сприймають дію усадкових сил. Встановлення кінцевих затискачів або притискних планок дозволяє суттєво зменшити ефективну довжину прогону та створити реакційні моменти, що знижують амплітуду прогину в рази. Використання розподілених опор під усією довжиною штабика ще більш ефективно: такі опори збільшують загальну згинальну жорсткість системи та практично виключають можливість значного прогину. Локальні роликові або планкові притиски, розташовані безпосередньо біля зони наплавлення, зменшують ексцентриситет усадочної дії та перешкоджають локальному вигину в найбільш вразливій зоні; вони забезпечують додаткове

вирівнювання, хоча й не можуть повністю замінити кінцеві опори.

Окремим ефективним засобом є попередній «зворотний» вигин елемента, коли перед наплавленням заготовки надають форму, протилежну очікуваній деформації. Після охолодження та релаксації залишкові напруження вирівнюють деталь до близького до плоского стану. Такий метод вимагає ретельного підбору величини попереднього вигину, але добре зарекомендував себе в технологічних процесах зварювання тонких сталевих елементів. Додаткові конструктивні рішення, такі як застосування формувальних канавок або теплопровідних підкладок, дозволяють керувати локальним розподілом деформацій та температурних градієнтів, підсилюючи ефективність фіксувальних елементів.

Виходячи з результатів розрахунку, наплавлення по відкритому краю листа товщиною 4 мм при зазначених режимах без спеціальних конструктивних заходів практично неможливе: деформації стають некерованими та перевищують допустимий технологічний рівень. Це підтверджує необхідність застосування притискних роликів, формувальної канавки, примусового охолодження та інших елементів, здатних стабілізувати геометрію деталі, розподіл тепла та обмежити пластичні деформації під час процесу наплавлення.

Запропонований пристрій (рис. 3) включає станину з мідною примусово охолоджувальною основою 1, індукційний нагрівач 6 та систему контактних роликів притискачів 10 та 12. У станині виконана формувальна канавка 4, що забезпечує напрямлену деформацію кромки тонкостінної деталі в процесі наплавлення. Це дозволяє компенсувати локальні теплові напруження та запобігати викривленню. На станині встановлено обмежувальну камеру 7 з вирізом для дії джерела нагріву. Камера має можливість регулювання положення у площині, перпендикулярній до осі переміщення деталі, що дозволяє адаптувати пристрій до різної товщини заготовок і концентрувати тепловий потік лише у зоні наплавлення. Контактні роликові притискачі розташовано симетрично з обох боків зони дії індуктора. Вхідний притискач має конічну форму та орієнтований під кутом 10...15° до поперечної площини деталі. Такий нахил забезпечує попереднє прилягання та стабілізацію положення заготовки, посилює теплообмін з водоохолоджувальною основою 6 та знижує ризик прогину. Вихідний притискач циліндричної форми підтримує рівномірність тиску та сприяє формуванню гладкої поверхні наплавлення.

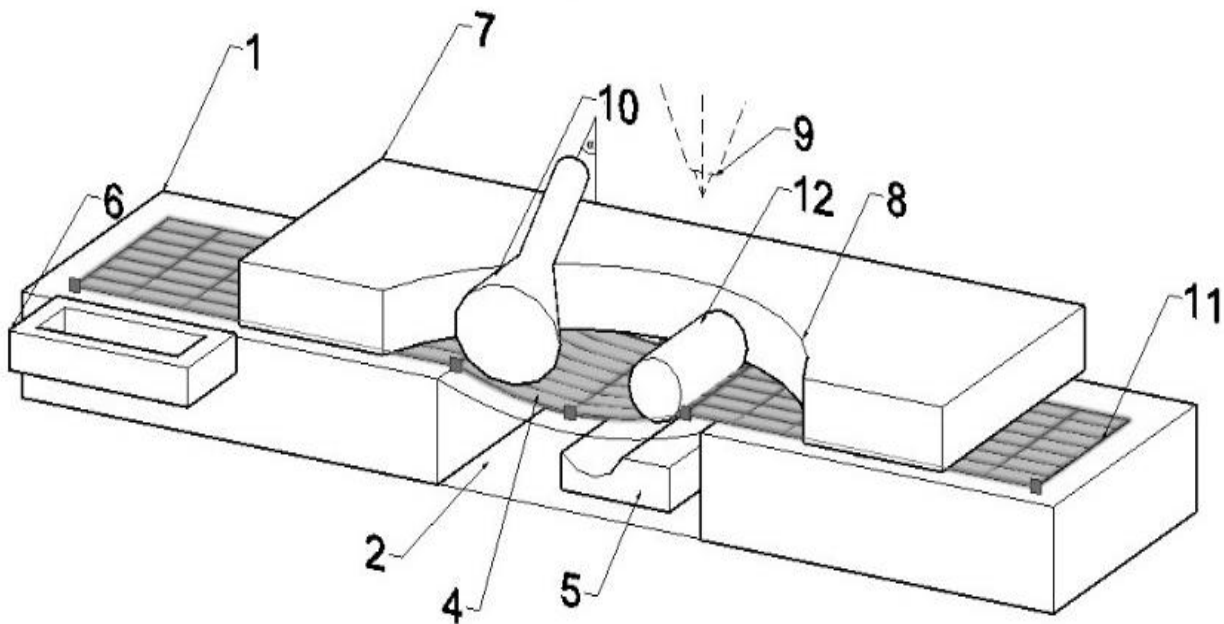


Рис. 3 — Схема пристрою для наплавлення плоских тонкостінних деталей (рух заготовки – зліва направо)

Під час роботи деталь фіксується між станиною та обмежувальною камерою. Після попереднього підігріву індуктором відбувається наплавлення по кромці. Притискачі компенсують усадкові напруження, а система примусового охолодження відводить надлишкове тепло. Формувальна канавка забезпечує контроль геометрії під дією оброблюваної пластини.

При напавленні тіл обертання додатковою технологічною проблемою є зварювання кратера наприкінці колового проходу. Внаслідок циклічного теплового навантаження та неможливості природного «виходу» шва за межі деталі в зоні замикання траєкторії формується локальне перевищення тепловкладення, що призводить до утворення усадкової раковини,

порушення структури наплавленого металу або локального жолоблення кромки. Імовірним шляхом вирішення цієї проблеми є застосування керованих перехідних режимів: поступове зниження теплової потужності джерела, введення перекривного допоміжного валика або використання тимчасової технологічної вставки, на яку переноситься зона завершення процесу.

Висновки

1. Встановлено, що специфічні умови експлуатації та мала жорсткість тонкостінних деталей (3...5 мм) роблять їх вразливими до значних температурних деформацій під час наплавлення. Розрахунки підтвердили, що без належної фіксації виникає поздовжня усадочна сила ($\approx 58,8$ кН), яка призводить до неприйняттого прогину (23...25 мм), а існуючі методи теплового регулювання не забезпечують необхідної геометричної стабільності.

2. Розроблено комбінований пристрій, що включає формувальну канавку, систему роликів притискачів та водоохолоджувану основу. Таке поєднання дозволяє керувати тепловим циклом, зменшити ексцентриситет усадкових сил та змінити умови закріплення, що забезпечує збереження геометрії деталі без необхідності подальшого механічного рихтування.

Перелік використаних джерел

- [1] Experimental comparison of abrasive and erosive wear characteristics of four wear-resistant steels / Jafari A., Dehghani K., Bahaaddini K., Abbasi Hataie R. *Wear*. 2018. Vol. 416–417. Pp. 14–26. DOI: <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*. 2010. Vol. 38, no. 1. Pp. 15–24. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11249-009-9564-X>.
- [3] Mosleh M., Blau P. J., Dumitrescu D. Characteristics and morphology of wear particles from laboratory testing of disk brake materials. *Wear*. 2004. Vol. 256, no. 11-12. Pp. 1128–1134. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2003.07.007>.
- [4] Wear mechanism evolution on brake discs for reduced wear and particulate emissions / R. Cai et al. *Wear*. 2020. Vol. 452-453. Article 203283. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2020.203283>.
- [5] Blau P. J., Meyer H. M. Characteristics of wear particles produced during friction tests of conventional and unconventional disc brake materials. *Wear*. 2003. Vol. 255, no. 7-12. Pp. 1261–1269. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0043-1648\(03\)00111-x](https://doi.org/10.1016/s0043-1648(03)00111-x).
- [6] MIG Welding Techniques and Tips. Available: <https://www.mig-welding.co.uk/finishing/secondary-grinding.jpg>. Accessed on: December 15, 2025.
- [7] Heat propagation of circular thin-walled parts fabricated in additive manufacturing using gas metal arc welding / Xiong J., Li R., Lei Y., Chen H. *Journal of Materials Processing Technology*. 2018. Vol. 251. Pp. 12–19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.08.007>.
- [8] An improved fused deposition modeling process for forming large-size thin-walled parts / J. Du et al. *Journal of Materials Processing Technology*. 2016. Vol. 234. Pp. 332–341. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.04.005>.
- [9] Effect of temperature on milling stability of thin-walled parts / Y. Liu et al. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. 2022. Pp. 17. DOI: <https://doi.org/10.1177/09544054221101752>.
- [10] Feng M., Wang Y. C., Davies J. M. Thermal performance of cold-formed thin-walled steel panel systems in fire. *Fire Safety Journal*. 2003. Vol. 38, no. 4. Pp. 365–394. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0379-7112\(02\)00090-5](https://doi.org/10.1016/s0379-7112(02)00090-5).
- [11] Xiong J., Lei Y., Li R. Finite element analysis and experimental validation of thermal behavior for thin-walled parts in GMAW-based additive manufacturing with various substrate preheating temperatures. *Applied Thermal Engineering*. 2017. Vol. 126. Pp. 43–52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.07.168>.
- [12] Пристрій для наплавлення тонкостінних деталей : пат. 93288 Україна : В23К13/00. № а200905554; заявл. 01.06.2009; опубл. 25.01.2011, Бюл. № 23/2010.
- [13] Пристрій для наплавлення плоских тонкостінних деталей : пат. 55346 Україна : В23К13/00. № 3882277; заявл. 15.04.1985; опубл. 17.03.2003, Бюл. № 3/2003.
- [14] Пристрій для наплавлення тонких фасонних дисків : пат. 152210 Україна : В23К13/00, В23К101/00. № u202200783; заявл. 21.02.2022; опубл. 05.01.2023. Бюл. № 1/2023.
- [15] Пристрій для наплавлення тонких фасонних дисків : пат. 59994 Україна : В23К13/00. № u201013152; заявл. 05.11.2010; опубл. 10.06.2011. Бюл. № 11/2011.
- [16] Прохоренко В., Прохоренко О. Напруження та деформації у зварних з'єднаннях і конструкціях : навч. посіб. Київ : НТТУ «КПІ», 2009. 267 с.

STABILIZATION OF THE EDGE CONFIGURATION OF THIN-WALLED PARTS DURING THEIR FUSIONING OR BUTT WELDING

Peremitko V.V.	<i>D.Sc. (Engineering), professor, Dniprovsky State Technical University, Kamianske, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9032-6116, e-mail: yperemitko1965@gmail.com;</i>
Kolomoyets I.V.	<i>PhD, associate professor, Dniprovsky State Technical University, Kamianske, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3650-2929, e-mail: ikolomoyets94@gmail.com;</i>
Nosov D.G.	<i>PhD (Engineering), associate professor, Dniprovsky State Technical University, Kamianske, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1588-684X, e-mail: nosov_dstu@ukr.net;</i>
Chumak M.S.	<i>postgraduate student, Dniprovsky State Technical University, Kamianske;</i>
Davydyuk A.V.	<i>PhD, associate professor, Dniprovsky State Technical University, Kamianske, ORCID: https://orcid.org/0009-0004-3688-3455, e-mail: anzhela8848@gmail.com</i>

This work is devoted to a comprehensive consideration of the problem of ensuring geometric stability and a significant increase in the service life of thin-walled metal parts during surfacing or edge welding operations. The study found that such structural elements are characterized by a critical combination of intense thermal deformations, high residual stresses and accelerated abrasive or fatigue wear. These factors together create severe limitations for the implementation of traditional surfacing technologies, since the thermal welding cycle leads to an irreversible loss of shape accuracy. The work analyzes in detail the specific operating conditions of thin-walled parts, reveals the dominant mechanisms of their destruction, and also systematizes existing design and technological solutions aimed at minimizing welding deformations. Particular attention is paid to calculating the potential deflection of a part made of 9HF steel with a thickness of 4 mm during surfacing in MIG/MAG modes. Theoretical calculations and experimental data show that in the absence of rigid fixation and thermal control, the residual deflection can reach 23...25 mm. This level of deformation is technologically unacceptable, since it makes further mechanical processing and operation of the product impossible. To solve this problem, the author's design of a specialized device for surfacing is proposed. It is based on the synergy of three components: a forming groove, a system of contact roller clamps and a copper base with forced liquid cooling. It is scientifically substantiated that such a combination allows you to effectively change the boundary conditions of fastening, minimize the eccentricity of the action of shrinkage forces, stabilize the general temperature regime of the heat-affected zone and radically reduce the level of grooving. At the end of the work, scientific hypotheses are formulated regarding the adaptation of the developed device for surfacing thin-walled bodies of rotation, in particular industrial disk knives. At the same time, specific requirements for dynamic balancing of the tool were taken into account and the problem of high-quality crater welding was solved, which is critical for ensuring the durability of the cutting edge.

Keywords: thin-walled parts; surfacing along the edge; residual stresses; thermal deformations; deflection; roller clamps; forming groove; forced cooling; bodies of rotation; disk knives.

References

- [1] A. Jafari, K. Dehghani, K. Bahaaddini, and R. Abbasi Hataie, "Experimental comparison of abrasive and erosive wear characteristics of four wear-resistant steels," *Wear*, vol. 416–417, pp. 14–26, 2018. doi: [10.1016/j.wear.2018.09.002](https://doi.org/10.1016/j.wear.2018.09.002).
- [2] J. Wahlström, L. Olander, and U. Olofsson, "Size, shape, and elemental composition of airborne wear particles from disc brake materials," *Tribology Letters*, vol. 38, no. 1, pp. 15–24, 2010. doi: [10.1007/s11249-009-9564-X](https://doi.org/10.1007/s11249-009-9564-X).
- [3] M. Mosleh, P. J. Blau, and D. Dumitrescu, "Characteristics and morphology of wear particles from laboratory testing of disk brake materials," *Wear*, vol. 256, no. 11–12, pp. 1128–1134, 2004. doi: [10.1016/j.wear.2003.07.007](https://doi.org/10.1016/j.wear.2003.07.007).
- [4] R. Cai, J. Zhang, X. Nie, J. Tjong, and D.T.A. Matthews, "Wear mechanism evolution on brake discs for reduced wear and particulate emissions," *Wear*, vol. 452–453, 2020, article 203283. doi: [10.1016/j.wear.2020.203283](https://doi.org/10.1016/j.wear.2020.203283).
- [5] P. J. Blau, and H. M. Meyer, "Characteristics of wear particles produced during friction tests of conventional and unconventional disc brake materials," *Wear*, vol. 255, no. 7–12, pp. 1261–1269, 2003. doi: [10.1016/S0043-1648\(03\)00111-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(03)00111-X).
- [6] MIG Welding Techniques and Tips. [Online]. Available: <https://www.mig-welding.co.uk/finishing/secondary-grinding.jpg>. Accessed on: December 15, 2025.
- [7] J. Xiong, R. Li, Y. Lei, and H. Chen, "Heat propagation of circular thin-walled parts fabricated in additive manufacturing using gas metal arc welding," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 251, pp. 12–19, 2018. doi: [10.1016/j.jmatprotec.2017.08.007](https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.08.007).
- [8] J. Du, Z. Wei, X. Wang, J. Wang, and Z. Chen, "An improved fused deposition modeling process for forming large-size thin-walled parts," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 234, pp. 332–341, 2016. doi: [10.1016/j.jmatprotec.2016.04.005](https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.04.005).

- [9] X. Xu, B. Li, and L. Zhou, "Effect of temperature on milling stability of thin-walled parts," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2258, no. 1, article 012015, 2022. doi: **10.1177/09544054221101752**.
- [10] M. Feng, Y. C. Wang, and J. M. Davies, "Thermal performance of cold-formed thin-walled steel panel systems in fire," *Fire Safety Journal*, vol. 38, no. 4, pp. 365–394, 2003. doi: **10.1016/s0379-7112(02)00090-5**.
- [11] J. Xiong, Y. Lei, and R. Li, "Finite element analysis and experimental validation of thermal behavior for thin-walled parts in GMAW-based additive manufacturing with various substrate preheating temperatures," *Applied Thermal Engineering*, vol. 126, pp. 43–52, Nov. 2017. [Online]. doi: **10.1016/j.applthermaleng.2017.07.168**.
- [12] O. M. Shablii, "Device for surfacing thin-walled parts," UA Patent 93288, Jan. 25, 2011. (Ukr.)
- [13] C. V. Pulka, and O. M. Shablii, "Device for facing of thin wall parts," UA Patent 55346, Mar. 17, 2003. (Ukr.)
- [14] C. V. Pulka, "Device for surfacing thin shaped disks," UA Patent 152210, Jan. 4, 2023. (Ukr.)
- [15] C. V. Pulka, "Device for surfacing of thin shaped disks," UA Patent 59994, Jun. 10, 2011. [Online]. (Ukr.)
- [16] V. Prokhorenko, and O. Prokhorenko, *Napruzheniia ta deformatsii u zvarnykh ziednanniakh i konstrukttsiakh* [Stresses and Deformations in Welded Joints and Structures: Textbook]. Kyiv, Ukraine: NTU «KPI» Publ., 2009. (Ukr.)

Стаття надійшла 06.02.2026

Стаття прийнята 25.02.2026

Стаття опублікована 26.03.2026

Цитуйте цю статтю як: Стабілізація конфігурації кромки тонкостінних деталей при їх наплавленні або зварюванні по торцю / В.В. Перемітько та ін. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2026. Вип. 53, том 1. С. 137–144. DOI: [10.31498/2225-6733.53.1.2026.359795](https://doi.org/10.31498/2225-6733.53.1.2026.359795).