

ВИСНОВОК

Про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційної роботи **Соколовського Миколи Володимировича** за темою «Лазерне наплавлення конструктивних елементів на тонкостінні деталі з високолегованих корозійностійких сталей», поданої на здобуття наукового ступеню доктора філософії за спеціальністю 132 «Матеріалознавство»

Дисертаційна робота присвячена виконанню актуального науково-практичного завдання – встановлення закономірностей впливу параметрів процесу лазерного селективного наплавлення металу на структуроутворення, геометрію та рівень експлуатаційних характеристик одержаних об'ємних елементів, та відпрацювання комплексу технологічних заходів для контрольованого формоутворення об'ємних елементів на тонкостінних корпусних та функціональних деталях відповідальних конструкцій.

Актуальність теми дослідження:

Актуальність даної роботи пояснюється необхідністю розробки такого технологічного процесу наплавлення технологічних елементів, при якому шанс проплавлення тонкостінної основи було б мінімізовано. При цьому необхідно зазначити, що у багатьох галузях промисловості використовуються тонкостінні деталі, у конструкції яких наявні функціональні елементи, які за своїми характеристиками значно відрізняються від вказаної деталі та призначені для виконання різного комплексу певних відповідальних завдань. Однак, при наплавленні на тонкостінну основу виникає ряд проблем, пов'язаних з запобіганням появі таких дефектів, як пропали та прогини. Через це, виготовлення цих конструктивних елементів, потребує вдосконалення технологічних підходів, а також розробки нових технічних рішень, наприклад використання концентрованих потоків енергії – лазерного випромінювання та є одним з актуальних завдань сучасних проблем прикладного матеріалознавства та технологій обробки матеріалів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконувалась у відділі спеціалізованої високовольтної техніки та лазерного зварювання (№77) Інституту електрозварювання НАН України згідно з планами науково-дослідних програм, зокрема “Дослідження лазерного селективного наплавлення металів для формоутворення функціональних елементів на тонкостінних деталях відповідальних конструкцій” (2022-2024 рр., номер державної реєстрації 0122U001193).

Наукова новизна отриманих результатів:

В дисертації одержані такі нові наукові результати:

1. Вперше встановлено, що для одержання конструктивних елементів виробів із заданою геометрією та властивостями, запобігання утворення дефектів проплаву та прогину при лазерному наплавленні порошку високолегованої аустенітної сталі на тонкостінні деталі з високолегованої корозійностійкої сталі AISI 316L товщиною до 1,5 мм, необхідно забезпечити рівномірний розподіл поглинутої теплової енергії і достатню швидкість її відведення від тонкостінної основи. Доведено, що при лазерному наплавленні з величиною погонної енергії $E_n=45\ldots75$ Дж/мм та густиною потужності $Q = 30\ldots45$ кВт/см², потрібно для більш ефективного тепловідведення використовувати підкладки з термопастою, закріплення деталі в максимальній кількості точок та застосовувати рівномірний газовий захист наплавленого металу, що остигає, до температур нижче 600 °С.
2. Розвинено уявлення щодо впливу параметрів лазерного наплавлення на геометрію наплавлених шарів. Встановлено, що при лазерному наплавленні конструктивних елементів на тонкостінні деталі товщиною до 1,5 мм з використанням порошку AISI 316L та при величині погонної енергії $E_n=45\ldots75$ Дж/мм, найбільш впливовим чинником на геометрію наплавлених шарів є потужність лазерного випромінювання. Перевищення величини потужності лазерного випромінювання вище рівня у 2,75 кВт або зниження швидкості наплавлення до рівня, нижчого за 1 м/хв приводить до стрімкого зростання величини проплавлення тонкостінної основи і підвищує ризик пропалювання тонкостінної основи.
3. Розвинено уявлення щодо впливу параметрів лазерного наплавлення на корозійну стійкість наплавлених шарів. Встановлено, що при веденні процесу лазерного наплавлення конструктивних елементів з високолегованої корозійностійкої сталі AISI 316L товщиною на тонкостінні деталі до 1,5 мм на рекомендованому рівні технологічних режимів ($E_n=45\ldots75$ Дж/мм, $Q = 30\ldots45$ кВт/см²), зразки можна вважати тривкими проти пітингової (кількість точок пітингу не перевищує 1000/м²) та міжкристалітної корозії (кількість корозійних точок, котрі спричиняють руйнування по границях зерен, не перевищує 30/м²).
4. Розвинено уявлення щодо теплостійкості деталей, нанесених шляхом лазерного наплавлення металевого порошку. Вперше визначено, при лазерному наплавленні конструктивних елементів з високолегованої корозійностійкої сталі AISI 316L товщиною на тонкостінні деталі до 1,5 мм при використанні запропонованих технологічних режимів ($E_n=45\ldots75$ Дж/мм, $Q = 30\ldots45$ кВт/см²), після витримки матеріалу в температурах, вищих за 600-800 °С протягом 2 год, спостерігається зниження величин твердості з HV 187-192 при 25-600°C до HV 172-175 при 800°C та HV 158-161 при 1000°C.

Практичне значення отриманих результатів:

Для проведення експериментальних робіт було розроблено та створено головку для наплавлення, котра виділяється тим, що її конструкція може забезпечувати більш якісний захист оптики та рівномірне охолодження ЗТВ завдяки багатоканальній схемі подачі захисного газу, а також вузол подачі (дозатор) порошку, котрий виділяється можливістю тонкого регулювання швидкості подачі матеріалу, що наплавляється.

За результатами досліджень розроблено технологічні рекомендації, щодо використання комплексу технологічних прийомів лазерного селективного наплавлення, для формоутворення об'ємних елементів на тонкостінних корпусних та функціональних деталях відповідальних конструкцій з високолегованих корозійностійких сталей хімічної, харчової, ракетно-космічної, авіаційної, приладобудівної та інших галузей промисловості. Дані технологічні рекомендації пройшли дослідно-промислову апробацію у ДП «ДКТБ ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України» (м. Київ) при відпрацюванні технології лазерного селективного наплавлення площадок для штуцерів та бандажних поясів на зразках-імітаторах соплового блоку рідинного ракетного двигуна за проектом КБ «Південне ім. М.К. Янгеля» (м. Дніпро).

Розроблені технологічні рекомендації, також планується використовувати при відпрацюванні технологій лазерного селективного наплавлення виробів харчової, хімічної, приладобудівної та інших галузей промисловості.

Апробація результатів дисертації.

Практичні напрацювання, отримані в результаті роботи, пройшли дослідно-промислову апробацію у ДП «ДКТБ ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України» (м. Київ) при відпрацюванні технології лазерного селективного наплавлення площадок для штуцерів та бандажних поясів на зразках-імітаторах соплового блоку рідинного ракетного двигуна за проектом КБ «Південне ім. М.К. Янгеля» (м. Дніпро).

Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Соколовського М.В. визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

Повнота опублікування матеріалів дисертації. За результатами досліджень опубліковано 14 наукових публікацій, у тому числі:

- 8 статей у наукових фахових виданнях України за спеціальністю 132 «Матеріалознавство», в т.ч. 7 статей, у яких число співавторів (разом із здобувачем) більше двох осіб;
- 2 статті у періодичних наукових виданнях проіндексованих у базах Scopus та/або Web of Science Core Collection другого та третього квартилю;
- 3 тез виступів на наукових конференціях;

- 1 стаття, що додатково відображає результати дисертації.

Перелік робіт, в яких опубліковано основні результати дисертації
Статті у науково періодичних виданнях, що входять до науково-метричної бази даних Scopus:

1. Bernatskyi, A., Sokolovskyi, M. Developmental review of metal additive manufacturing processes. History of Science and Technology, **2023**. 13(2), 334-356. <https://doi.org/10.32703/2415-7422-2023-13-2-334-356> (Scopus, Q2)
2. G. Polishko, Yu. Kostetskyi, V. Kostin, Ye. Pedchenko, A. Bernatskyi, M. Sokolovskyi, P. Honcharov, and V. Zaitsev. Specifics of Creating Joints from Modern Boron-Microalloyed High-Strength Steels Utilizing Laser, Contact Spot, as Well as Argon-Arc Spot Welding Technologies. Metallophysics and Advanced Technologies. 2024. vol. 46, No. 9. PP. 893–914. <https://doi.org/10.15407/mfint.46.09.0893> (Scopus, Q3)

Статті у фахових виданнях України

1. **Соколовський М.В.** Проблеми та перспективи дослідження процесів селективного лазерного плавлення матеріалів для аерокосмічної техніки (Огляд), Автоматичне зварювання, 2022. № 11. С. 18-27. <https://doi.org/10.37434/as2022.11.03>
1. Бернацький А.В., Сіора О.В., **Соколовський М.В.**, Лукашенко В.А., Данилейко О.О., Набок Т.М., Бондарева В.І., Шамсутдінова Н.О. Особливості лазерного наплавлення з використанням сканатору лазерного випромінювання, Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія Технічні науки. 2022. Том 33(72) №6. С.1-7. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.6/01>
1. Бернацький А. В., Курило В.А., Сучек О.М., Сіора О.В., **Соколовський М.В.**, Шамсутдінова Н.О. Розробка технологічної головки для лазерного наплавлення сільськогосподарської техніки. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів. 2022. №3 (49). С. 19-26. ISSN: 2708-4892. <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.3.3>
1. **Соколовський М.В.**, Бернацький А. В., Шамсутдінова Н.О., Юрченко Ю.В., Данилейко О.О. Адитивне виготовлення конструктивних елементів на тонкостінній основі: виклики та труднощі (Огляд), Автоматичне зварювання. 2023. № 10. с. 45-52. <https://doi.org/10.37434/as2023.10.06>
1. Юрченко Ю. В., Сучек О. М., Курило В. А, Сіора О. В., **Соколовський М. В.**, Бернацький А. В.. Розробка лабораторного устаткування для виготовлення плоских та циліндричних зразків з тонколистового матеріалу з використанням технології лазерного зварювання Вісник Херсонського національного технічного університету, 2024. № 1. С. 156-161. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.1.20>

1. **Соколовський М. В.**, Сіора О.В., Юрченко Ю. В., Лукашенко В. А., Бернацький А. В.. Встановлення впливу складових технологічних режимів на формоутворення наплавленого шару при лазерному наплавленні на тонкостінну основу, Вісник Херсонського національного технічного університету, 2024. № 3. С. 124-131.

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.3.16>

1. **Соколовський М.В.**, Сіора О.В., Юрченко Ю.В., Данилейко О.О., Бернацький А.В. Визначення залежності температурних режимів роботи вузлів на твердість порошкового матеріалу, наплавленого на тонкостінну основу, Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. 2024. Випуск 2 / 2024 (145). с.92-97. <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2024.2.13>

1. Бернацький А.В., Юрченко Ю.В., Сіора О.В., Лукашенко В.А., Бондарєва В.І., **Соколовський М.В.** Розроблення пристрою газового захисту для лазерної обробки металевих матеріалів/ Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. 2024. Випуск 4 / 2024 (147). с. 128-134. <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2024.4.16>

Статті у науково-періодичних виданнях інших держав

1. **Mykola Sokolovskyi**, Oleksandr Siora, Yurii Yurchenko, Volodymyr Lukashenko, Artemii Bernatskyi, Iryna Siora, Oleksandr Danyleiko. Specifics of the Surface Structure of Stainless Steel Elements on Thin-Sheet Basis Applied via Laser Cladding, International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT), 2024. Vol. 47, No. 1. pp. 447-454. <http://dx.doi.org/10.52155/ijpsat.v47.1.6680>

Матеріали, що засвідчують апробацію дисертації:

1. Бернацький А.В., **Соколовський М.В.**, Сіора О.В., Лукашенко В.А., Данилейко О.О., Набок Т.М., Бондарєва В.І., Шамсутдінова Н.О. Дослідження сучасного стану процесів селективного лазерного наплавлення металевих матеріалів та перспектив його використання. Збірка тез доповідей наукової конференції «Зварювання та технічна діагностика для відновлення економіки України». Під ред. О.Т. Зельніченка. Київ: Міжнародна Асоціація «Зварювання», 2022. С. 27. <http://pwi-scientists.com/pdf/welding2022-tezi.pdf>

1. **Соколовський М.В.**, Сіора О.В., Бондарєва В.І., Курило В.А., Сучек О.М., Юрченко Ю.В., Шамсутдінова Н.О., Бернацький А.В. Аналіз технологічних особливостей лазерного наплавлення на тонкостінну основу. Збірка тез доповідей науково-технічної конференції «Сучасні напрями розвитку адитивних технологій» 27 листопада 2023 р., м. Київ, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона. С.37. http://pwi-scientists.com/pdf/105_Paton_Conf_2023.pdf

1. Kushnarova O.S., Berdnikova O.M., Alekseyenko T.O., **Sokolovskyi M.V.**, Siora O.V., Lukashenko V.A., Bernatskyi A.V. Influence of the

substructure on the change of mechanical properties in the surface layers of structural steel during laser and laser-plasma alloying. Збірка тез доповідей науково-технічної конференції «NANO-2024» 21-24 серпня 2024 р., м. Ужгород, Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет». С.443.

Виходячи з аналізу вищенаведених робіт, можна зробити висновок про успішне виконання вимог щодо кількості наукових публікацій перед представленням до захисту дисертаційної роботи Соколовського М.В., а також про достатню повноту висвітлення наукових та практичних результатів у опублікованих матеріалах.

Розглянута дисертаційна робота Соколовського М.В. «Лазерне наплавлення конструктивних елементів на тонкостінні деталі з високолегованих корозійностійких сталей», що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 132 «Матеріалознавство», є завершеним науковим дослідженням і відповідає за своїм науковим рівнем, новизною отриманих результатів, теоретичною та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю вимогам, викладеним у постанові КМУ від 12 січня 2022 р. №44 «Порядок присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії». Робота містить нові науково обґрунтовані результати проведених здобувачем досліджень, які мають певне науково-практичне значення в галузі матеріалознавства, базується на достатній кількості наукових публікацій, не містить текстових запозичень (плагіату), і може бути прийнята до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 «Матеріалознавство».

Голова семінару:
академік НАН України,
доктор технічних наук,
професор

Сергій АХОНІН

Секретар семінару:
д.т.н., с.н.с.

Сергій РИМАР

