

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ВТОМНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ НАПЛАВЛЕНИХ ДЕТАЛЕЙ (Огляд)

І.О. Рябцев, А.А. Бабінець, І.І. Рябцев, І.П. Лентюгов

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: ryabtsev39@gmail.com

Наведено огляд літературних даних щодо проблеми підвищення втомної довговічності наплавлених деталей, які експлуатуються в умовах одночасної дії різних видів зношування та циклічних механічних навантажень. Показано, що підвищення втомної довговічності наплавлених деталей можна досягти за рахунок раціонального вибору та оптимізації хімічного складу матеріалів для наплавлення, розробки оптимальної конструкції наплавлених шарів, використання технології послідовного наплавлення твердих зносостійких шарів і проміжних шарів із високими пластичними характеристиками. Бібліогр. 29, рис. 5.

Ключові слова: дугове наплавлення, багатошарове наплавлення, ремонтне наплавлення, пластичний підшар, втомна довговічність, тріщини втоми, коефіцієнт інтенсивності напружень

Вступ. Термін служби деталей машин і механізмів у різних галузях промисловості залежить, передусім, від умов їх експлуатації та властивостей матеріалів, з яких вони виготовлені. Багато з цих деталей експлуатуються одночасно в умовах різних видів зношування та циклічних механічних навантажень неоднакової, змінної інтенсивності. Комбінація таких умов експлуатації найчастіше призводить до передчасного, а, іноді, й до аварійного виходу з ладу коштовного технологічного устаткування. Час, витрачений на заміну зношених деталей і наступне переналагодження устаткування, знижує продуктивність праці та значно підвищує матеріальні витрати.

Особливо актуальною ця проблема є для гірничо-металургійної та машинобудівної галузей промисловості, в яких використовується високопродуктивне устаткування. Його зупинка для заміни зношених деталей призводить до таких втрат від продукції, що не випущено, які можуть у багато

разів перевищувати прямі витрати на придбання нових деталей і заміну зношених. До таких деталей відносяться прокатні валки та штампи холодного та гарячого деформування; ролики машин безперервного лиття заготовок; деталі опорно-поворотних пристроїв вантажно-підйомних машин і екскаваторів; зуби великомодульних шестерень та ін. [1–4].

При цьому багато з цих деталей наплавляються при виготовленні або неодноразово відновлюються методами наплавлення після часткового зношування та використовуються повторно [1]. У процесі подальшої тривалої експлуатації в умовах одночасної дії зношування та циклічних механічних навантажень у наплавленому та основному металі можуть з'являтися та розвиватися втомні тріщини, які спричиняють аварійне руйнування деталі (рис. 1) [5].

Зниженню циклічної довговічності наплавлених деталей сприяють залишкові напруження роз-

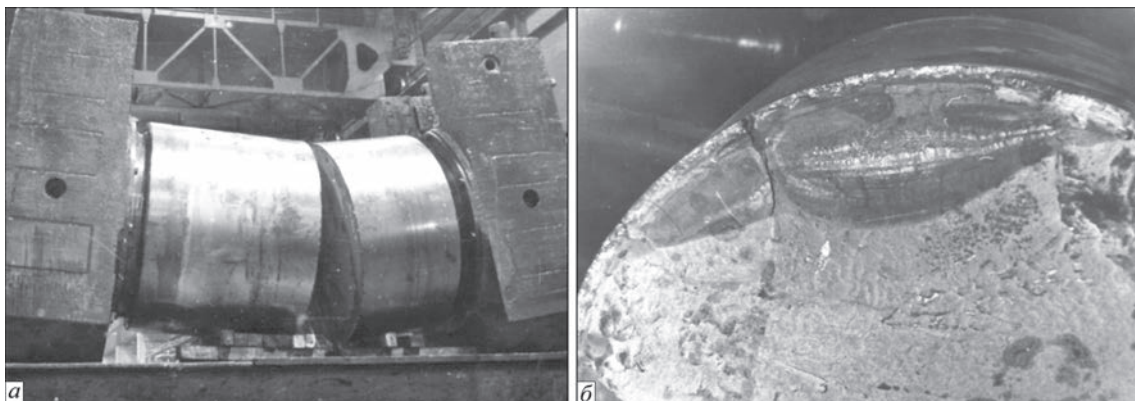


Рис. 1. Втомне руйнування наплавленого прокатного валка: а – зовнішній вигляд валка з підшипниковими вузлами після руйнування; б – макробудова зони зародження та поширення тріщини [5]

Рябцев І.О. – <https://orcid.org/0000-0001-7180-7782>, Бабінець А.А. – <https://orcid.org/0000-0003-4432-8879>,

Рябцев І.І. – <https://orcid.org/0000-0001-7550-1887>, Лентюгов І.П. – <https://orcid.org/0000-0001-8474-6819>

© І.О. Рябцев, А.А. Бабінець, І.І. Рябцев, І.П. Лентюгов, 2025

тягу, які виникають у результаті впливу термічного циклу наплавлення. На інтенсивність накопичення втомних пошкоджень при циклічному навантаженні багат шарового наплавленого металу також несприятливо може впливати його структурна та хімічна неоднорідність.

Крім того, при наплавленні важкозварюваних високолегованих сталей і сплавів на конструкційні вуглецеві та високовуглецеві сталі, які також погано зварюються, існує ймовірність утворення різних дефектів. Ці дефекти теж можуть слугувати джерелом зародження втомних тріщин. Причому зі збільшенням кількості наплавлених шарів зростає не лише ймовірність утворення дефектів, але й рівень залишкових напружень розтягу, які можуть суттєво знижувати циклічну довговічність наплавлених деталей [1, 2].

Слід також пам'ятати, що часто для підвищення втомної довговічності та інших експлуатаційних властивостей деталей застосовують наплавні матеріали з вищим ступенем легуванням, через те що властивості литого наплавленого металу, як правило, поступаються властивостям однакового за хімічним складом деформованого металу [1–4]. Проте такий підхід зумовлює підвищення вартості технології наплавлення та ймовірності появи дефектів у наплавленому металі та на границі його сплавлення з основним металом.

Мета роботи – узагальнити дані щодо методів підвищення втомної довговічності наплавлених деталей, які отримані авторами статті та іншими дослідниками; розробити рекомендації щодо їх практичного використання у промисловості.

Основні методи підвищення втомної довговічності наплавлених деталей. Аналіз літературних даних показує, що одними з найпоширеніших методів підвищення втомної довговічності наплавлених деталей є поверхневе зміцнення [6], термічна обробка [7, 8], зменшення погонної енергії наплавлення [9–11] тощо. Перераховані вище операції зменшують залишкові напруження розтягу або створюють напруження стиску, які сприяють підвищенню втомної тріщиностійкості [12–15].

Проте глибина, на яку поширюється вплив більшості механічних і хімічних видів поверхневого зміцнення, коливається від 0,03 до 2,0 мм, а проведення термообробки, здатної забезпечити формування заданої структури на більшу глибину (від 3 до 100 мм і більше) пов'язане зі значними енергетичними витратами та з необхідністю застосування складного та великогабаритного устаткування.

Висловлюються пропозиції щодо застосування методів гальмування росту тріщин, які полягають у створенні системи інших тріщин, які більш сприятливо розташовані та дозволяють значно знизити величину напружень розтягу. Це досягається, зокрема, при формуванні кожного наплавленого шару накладанням валиків за синусоїдальною або зигзагоподібною траєкторією (рис. 2) [16]. У цьому випадку використовується ефект гальмування тріщини за рахунок перетину з іншими тріщинами. Проте перспективність цього підходу, з точки зору втомної довговічності деталі в цілому, досить сумнівна, оскільки контролювати та керувати розташуванням і розповсюдженням тріщин у наплавленому металі практично неможливо. Гарантувати, що ці тріщини, у свою чергу, не стануть початком втомного руйнування, також не можна.

Перспективними можуть бути способи, спрямовані на зниження погонної енергії наплавлення [15, 16]. Це пояснюється тим, що зниження ефективної потужності нагрівання виробу зварювальною дугою зумовлює зменшення рівня залишкових напружень розтягу та деформацій (рис. 3), а також подрібнення структури наплавленого металу внаслідок зростання швидкості кристалізації, що позитивно позначається на тріщиностійкості.

На наш погляд, найперспективнішим для підвищення втомної довговічності наплавлених деталей із вуглецевих конструкційних сталей є використання багат шарового наплавлення, з послідовним нанесенням твердих зносостійких і пластичних сталей та сплавів.

У [17] для збільшення втомної довговічності деталей пропонується використовувати для

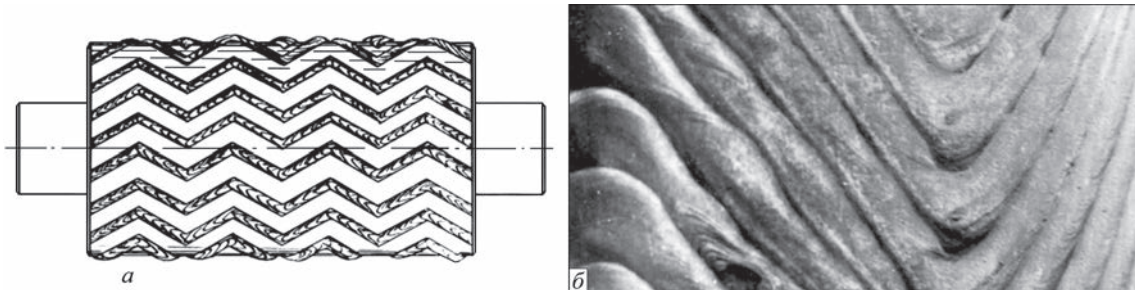


Рис. 2. Наплавлення зигзагоподібних (а) і синусоїдальних (б) валиків з розривами між ними з метою гальмування розповсюдження втомних тріщин [16]

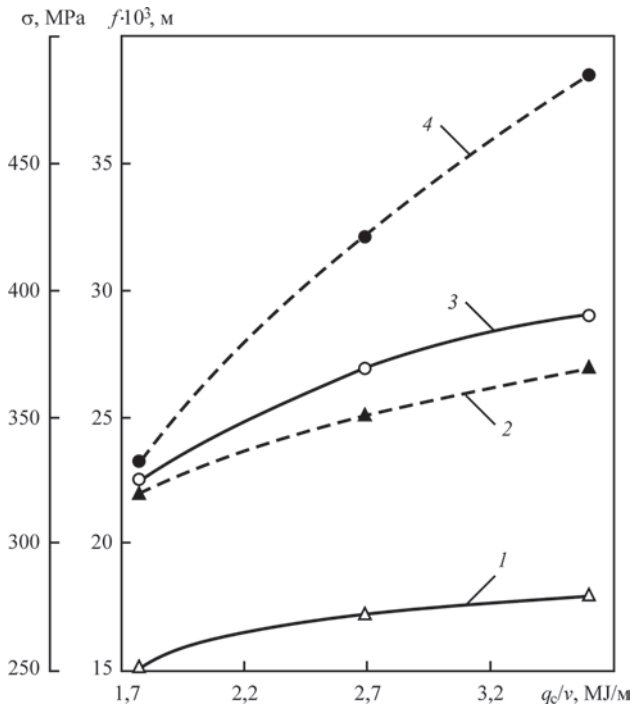


Рис. 3. Залежність зварювальних напружень σ (3, 4) і деформацій прогину f (1, 2) у пластинах розмірами відповідно $(8 \times 120 \times 900) \cdot 10^{-3}$ м (штрихові криві) та $(30 \times 120 \times 900) \cdot 10^{-3}$ м (суцільні криві) від погонної енергії зварювання [9]

їх наплавлення матеріали з різними механічними властивостями, створюючи своєрідні бар'єри, які сприяють гальмуванню розвитку тріщин або їх повній зупинці у зв'язку з необхідністю додаткових витрат енергії на подолання границі між шарами. Так, при дослідженні впливу наплавлення на опір втоми біметалу бронза-сталь встановлено, що границя сплавлення двох різнорідних матеріалів відіграє роль бар'єру для росту тріщини, яка зародилась на поверхні [2].

Деякі дослідники [5, 14, 17, 18] пропонують чергувати високоміцні та пластичні шари (рис. 4), що, на їхню думку, може зупиняти тріщини, орієнтовані перпендикулярно до границі шарів. Так, за даними [14], композиція, що складається з 3-х шарів (20Х6ГМФС+12ГС+20Х6ГМФС), послідовно наплавлених один на інший, має вищу тріщиностійкість, ніж однорідний тришаровий метал типу 20Х6ГМФС.

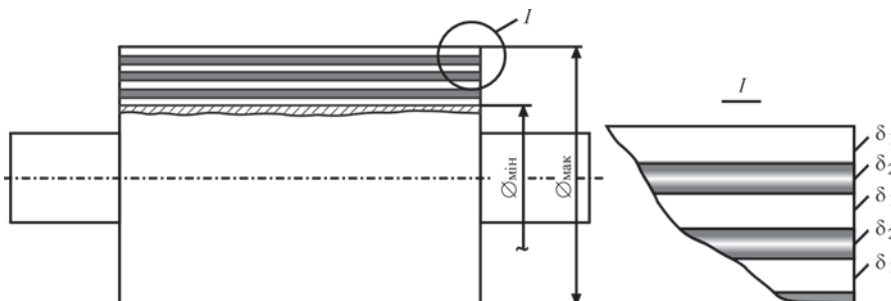


Рис. 4. Конструкція багатшарового наплавленого металу валка, виконана почергово матеріалами з меншим (δ_1) і більшим (δ_2) модулями пружності [5]

Дослідження в цьому напрямку, які були проведені в ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України [2, 19–29], підтвердили, що підвищення втомної довговічності наплавлених деталей може досягатися за рахунок раціонального вибору та оптимізації хімічного складу матеріалів для наплавлення, розробки оптимальної конструкції наплавлених шарів, використання технології наплавлення проміжних шарів із високими пластичними характеристиками.

Так, зокрема, у результаті втомних випробувань наплавлених зразків без і з підшаром із високими пластичними характеристиками було встановлено, що втомна довговічність зразків із підшаром була на 40 % вище, ніж у зразків без підшару [19, 20, 23].

Виявлено, що циклічна довговічність зразків сталі 40Х, наплавлених порошковим дротом ПП-Нп-25Х5ФМС з підшаром, наплавленим суцільним дротом Св-08А, з максимальними напруженнями стиску від нульового циклу 600 МПа перевищує $2 \cdot 10^6$ циклів змін напружень. У результаті досліджень кінетики втомного руйнування цих зразків встановлено, що магістральна тріщина переважно розвивається по границі сплавлення окремих валиків. Тріщин втоми, паралельних магістральній, на відміну від зразків, наплавлених без підшару, не виявлено. Після проходження тріщиною зносостійкого наплавленого шару і підшару руйнування зразків відбувалося по основному металу [19, 20, 23].

У [19] наведено результати визначення коефіцієнту інтенсивності напружень (КІН) для основного металу (сталь 40Х), металу підшару, наплавленого суцільним дротом Св-08А, металу зносостійкого шару, наплавленого порошковим дротом ПП-Нп-25Х5ФМС. КІН є показником інтенсивності напружень у вершині тріщини, і він характеризує працездатність конкретного металу за наявності тріщин. Встановлено [19], що у зносостійкому наплавленому металі 25Х5ФМС втомна тріщина розвивається нестабільно та її швидкість постійно змінювалася в діапазоні значень $10^{-8} \dots 10^{-7}$ м/цикл (КІН 45...60 МПа $\sqrt{\text{м}}$). У металі підшару швидкість росту втомної тріщини підвищується на порядок: до $2 \cdot 10^{-7} \dots 2 \cdot 10^{-6}$ м/цикл в ін-

тервалі КІН 60...100 МПа $\sqrt{м}$. В основному метали сталі 40Х, тріщина стабільно розвивалась із постійно зростаючою швидкістю $6 \cdot 10^{-7} \dots 7 \cdot 10^{-6}$ м/цикл до руйнування зразка при КІН 140...180 МПа $\sqrt{м}$.

У результаті аналізу мікроструктури зразків також було встановлено, що дрібний розмір зерен структури та більш рівномірний розподіл легуючих елементів у зразку, наплавленому з підшаром типу низьковуглецевої сталі 08кп, у порівнянні з іншими зразками, а також його високі пластичні властивості позитивно впливають на стійкість до утворення втомних тріщин. І це пояснює збільшення втомної довговічності зразків з підшаром із низьковуглецевої сталі у 2,4...3,0 рази у порівнянні з іншими зразками [19, 20, 23].

Порівняльний фрактографічний аналіз зламів багат шарових зразків показав, що зразки, наплавлені з підшаром типу низьковуглецевої сталі 08кп і зносостійким робочим шаром типу сталі 25Х5МФС, які мають досить однорідний волокнистий тип зламу на ділянках наплавленого та основного металу, забезпечують найкращі показники втомної довговічності. Злами багат шарових зразків, наплавлених з підшаром низьколегованої сталі типу 12Х1МФ та зносостійким робочим шаром типу сталі 25Х5МФС, мають переважно кристалічний характер і високу неоднорідність поверхні зламів на ділянці наплавленого металу, де присутня велика кількість виділень стовпчастої форми кристалічного типу, пов'язаної з перерозподілом вуглецю та хрому. Такий характер зламів веде до зниження втомної довговічності багат шарових наплавлених зразків [19, 20, 23, 29].

Авторами були досліджені можливості ремонтного (відновлювального) наплавлення зразків із втомними тріщинами [2]. Встановлено, що циклічна довговічність зразків сталі 40Х з наплавленим зносостійким шаром без або з підшаром ста-

лі 08кп після відновлювального ремонту складає 31...56 % від довговічності бездефектних зразків після виготовного наплавлення (рис. 5).

Доведено, що проводити ремонт багат шарових наплавлених деталей після тривалої експлуатації, тобто після напрацювання кількості циклів, близької до довговічності при виготовному наплавленні, не є ефективним, оскільки це не забезпечує суттєвого збільшення довговічності після ремонту через високий рівень накопичених втомних пошкоджень у зносостійкому наплавленому металі на відстані від місця ремонту.

Висновки

1. Аналіз літературних даних показує, що одними із найпоширеніших методів підвищення втомної довговічності наплавлених деталей є поверхневе зміцнення, термічна обробка та зменшення погонної енергії наплавлення, у результаті проведення яких зменшуються залишкові напруження розтягу або створюються напруження стиску, які сприяють підвищенню втомної тріщиностійкості наплавленого металу.

2. Підвищення втомної довговічності наплавлених деталей можна досягти за рахунок раціонального вибору та оптимізації хімічного складу матеріалів для наплавлення, розробки оптимальної конструкції наплавлених шарів, використання технології наплавлення проміжних шарів із високими пластичними характеристиками.

3. Показано, що проводити ремонт багат шарових наплавлених деталей після тривалої експлуатації, тобто після напрацювання кількості циклів, близької до довговічності при виготовному наплавленні, не є ефективним, оскільки це не призводить до суттєвого збільшення довговічності після ремонту внаслідок високого рівня накопичених втомних пошкоджень у зносостійкому наплавленому металі на відстані від місця ремонту.

Список літератури

1. Ryabtsev, I., Fomichov, S., Kuznetsov, V. et al. (2023) *Surfacing and additive technologies in welded fabrication*. Springer Nature Switzerland AG. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-34390-2>
2. Рябцев И.А., Сенченков И.К., Турык Э.В. (2015) *Наплавка. Материалы, технологии, математическое моделирование*. Гливице, Польша.
3. Czuchryj, J. (1991) Effects of arc surfacing on the fatigue strength of shafts. *Welding International*, 5(11), 867–870. DOI: <https://doi.org/10.1080/09507119109446804>
4. Gulakov, S.V., Chigarev, V.V., Ivanov, V.P. et al. (2004) Improvement of technology for hardfacing of metallurgical equipment components. *The Paton Welding J.*, 10, 48-51.
5. Иванов В.П., Степнова Ю.А. (2015) Совершенствование технологии наплавки габаритных валков горячей прокатки гетерогенным рабочим слоем. *Вісник ПДТУ. Серія: Технічні науки*, 31, 98–105. DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.31.2015.71147>

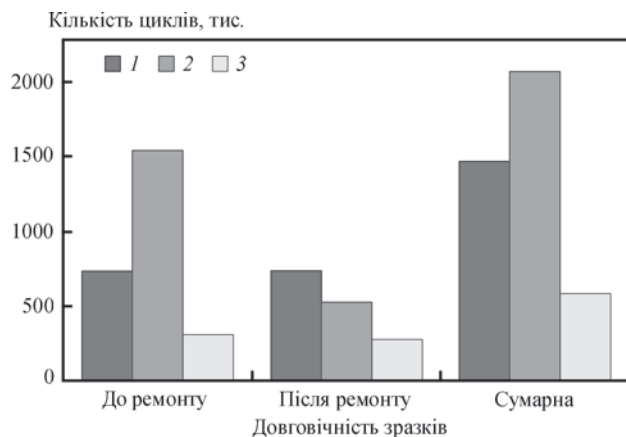


Рис. 5. Довговічність наплавлених зразків до та після ремонту: 1 – наплавлення дротом ПП-Нп-25Х5ФМС без підшару; 2 – те ж, з підшаром 08кп; 3 – те ж, з підшаром 12Х1МФ [2]

6. Dudnikov, A., Dudnikov, I., Kelemesh, A., Gorbenko, O. (2019) Improving the technology of part machining by surface plastic deformation. *Eastern-European J. of Enterprise Technologies*, **6**, **1**, 26–32. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.183541>
7. Makhnenko, V.I., Shekera, V.M., Kravtsov, T.G., Sevryukov, V.V. (2001) Effect of subsequent mechanical treatment on redistribution of residual stresses in surfaced shafts. *The Paton Welding J.*, **7**, 2–5.
8. Zakharova, I. (2024) Welding processes in the restoration of industrial and energy facilities. *Machinery & Energetics*, **15**(1), 56–64. DOI: <https://doi.org/10.31548/machinery/1.2024.56>
9. Chigaryov, V.V., Shchetinina, V.I., Shchetinin, S.V. et al. (2009) Increase of crack resistance of shrouded traveling rolls in high-speed hardfacing. *The Paton Welding J.*, **1**, 22–25.
10. Shchetinin, S.V. (2016) Improvement of crack resistance of banded supporting rolls at high-speed surfacing with low heat input. *The Paton Welding J.*, **8**, 10–14. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2016.08.03>
11. Крюкович М.Г., Ключков Н.П., Савельева А.С. (2014) Пути повышения долговечности деталей, восстановленных методами наплавки. *Новые материалы и технологии в машиностроении*, **20**, 45–50.
12. Brodovoj, V.A., Gushcha, O.I., Kuzmenko, A.Z., Mikheev, P.P. (2001) Interaction of residual stresses in the zones of stress concentrators and fatigue cracks. *The Paton Welding J.*, **9**, 42–43.
13. Gopkalo, A.P., Klipachevsky, V.V. (2015) Effect of surfacing on stress-strain state of rollers of machines for continuous casting of billets. *The Paton Welding J.*, **5-6**, 140–141. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2015.06.31>
14. Brodovoj, V.A., Mikheev, P.P., Knysh, V.V. et al. (2003) Effectiveness of fatigue crack retardation by the field of compressive residual stresses. *The Paton Welding J.*, **8**, 49–50.
15. Самогугин С.С., Лещинский Л.К., Мазур В.А., Самогугина Ю.С. (2013) *Инструментальные материалы: свойства и упрочнение*. Мариуполь, ПГТУ.
16. Лещинский Л.К., Самогугин С.С. (2005) *Слоистые наплавленные и упрочненные композиции*. Мариуполь, Новый мир.
17. Домбровский Ф.С., Лещинский Л.К. (1995) *Работоспособность наплавленных роликов машин непрерывного литья заготовок*. Киев, ИЭС им. Е.О. Патона.
18. Korotkov, V.A., Chubelov, V.A. (2000) Depositing contact-loaded surfaces with alternating hard and soft sections. *Welding International*, **14**(9), 722–724. DOI: <https://doi.org/10.15407/10.1080/09507110009549257>
19. Рябцев И.О., Книш В.В., Бабинець А.А., Соловей С.О. (2022) *Втомна довговічність наплавлених деталей*. Київ, Інтерсервіс.
20. Ryabtsev, I.A., Babinets, A.A., Ryabtsev, I.I. (2016) Fatigue life of multilayer hard-faced specimens. *Welding International*, **30**(4), 305–309. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2015.1058004>
21. Рябцев И.А., Сенченков И.К. (2013) *Теория и практика наплавочных работ*. Киев, ЕкоТехнологія.
22. Senchenkov, I.K., Chervinko, O.P., Ryabtsev, I.A. (2015) Calculation of fatigue life of cylindrical parts at multilayer surfacing and service cyclic thermo-mechanical loading. *The Paton Welding J.*, **5-6**, 134–139. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2015.06.30>
23. Senchenkov, I.K., Chervinko, O.P., Ryabtsev, I.A., Babinets, A.A. (2014) Determination of the service life of hardfaced components under thermal and cyclic loading. *Welding International*, **28**, **1**, 80–84. DOI: <https://doi.org/10.1080/09507116.2013.796661>
24. Babinets, A.A., Ryabtsev, I.A., Kondratiev, I.A. et al. (2014) Investigation of thermal resistance of deposited metal designed for restoration of mill rolls. *The Paton Welding J.*, **5**, 16–20. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2014.05.03>
25. Barvinko, A.Yu., Knysh, V.V., Barvinko, Yu.P., Yashnik, A.N. (2012) Development of surface crack-like defect in welded joints of 06GB-390 steel at cyclic loading. *The Paton Welding J.*, **5**, 40–42.
26. Книш В.В., Соловей С.О. (2013) Підвищення опору втомі зварних з'єднань з накопиченими втомними пошкодженнями. *Вісник ТНТУ*, **3**, 189–197.
27. Книш В.В. (2014) Метод розрахункової оцінки циклічної тріщиностійкості елементів металоконструкцій з урахуванням впливу остаточних зварювальних напружень. *Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій: зб. під ред. Й.Й. Лущка*, Львів, Вип. **10**, 239–250.
28. Knysh, V.V., Solovej, S.A., Nyrkova, L.I. et al. (2016) Improvement of cyclic fatigue life of tee welded joints by high-frequency mechanical peening under the conditions of higher humidity and temperature. *The Paton Welding J.*, **3**, 19–24. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2016.03.02>
29. Ryabtsev, I.O., Babinets, A.A., Student, O.Z. et al. (2022) Substantiation of the choice of materials for surfacing based on the fractographic analysis of fatigue fractures. *Materials Science*, **58**(1), 126–134. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11003-022-00640-8>

References

1. Ryabtsev, I., Fomichov, S., Kuznetsov, V. et al. (2023) *Surfacing and additive technologies in welded fabrication*. Springer Nature Switzerland AG. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-34390-2>
2. Ryabtsev, I.A., Senchenkov, I.K., Turyk, E.V. (2025) *Surfacing. Materials, technologies, mathematical modeling*. Gliwice, Poland.
3. Czuchryj, J. (1991) Effects of arc surfacing on the fatigue strength of shafts. *Welding Intern.*, **5**(11), 867–870. DOI: <https://doi.org/10.1080/09507119109446804>
4. Gulakov, S.V., Chigarev, V.V., Ivanov, V.P. et al. (2004) Improvement of technology for hardfacing of metallurgical equipment components. *The Paton Welding J.*, **10**, 48–51.
5. Ivanov, V.P., Stepnova, Yu.A. (2015) Improvement of technology for hardfacing of standard hot rolls by heterogeneous working layer. *Visnyk PDTU. Seriya: Tekhnichni Nauky*, **31**, 98–105. DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.31.2015.71147>
6. Dudnikov, A., Dudnikov, I., Kelemesh, A., Gorbenko, O. (2019) Improving the technology of part machining by surface plastic deformation. *Eastern-European J. of Enterprise Technologies*, **6**, **1**, 26–32. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.183541>
7. Makhnenko, V.I., Shekera, V.M., Kravtsov, T.G., Sevryukov, V.V. (2001) Effect of subsequent mechanical treatment on redistribution of residual stresses in surfaced shafts. *The Paton Welding J.*, **7**, 2–5.
8. Zakharova, I. (2024) Welding processes in the restoration of industrial and energy facilities. *Machinery & Energetics*, **15**(1), 56–64. DOI: <https://doi.org/10.31548/machinery/1.2024.56>
9. Chigaryov, V.V., Shchetinina, V.I., Shchetinin, S.V. et al. (2009) Increase of crack resistance of shrouded traveling rolls in high-speed hardfacing. *The Paton Welding J.*, **1**, 22–25.
10. Shchetinin, S.V. (2016) Improvement of crack resistance of banded supporting rolls at high-speed surfacing with low heat input. *The Paton Welding J.*, **8**, 10–14. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2016.08.03>
11. Krukovich, M.G., Klochkov, N.P., Savelieva, A.S. (2014) Ways for improvement of service life of parts restored by surfacing methods. *Novye Materialy i Tekhnologii v Mashinostroenii*, **20**, 45–50.
12. Brodovoj, V.A., Gushcha, O.I., Kuzmenko, A.Z., Mikheev, P.P. (2001) Interaction of residual stresses in the zones of stress concentrators and fatigue cracks. *The Paton Welding J.*, **9**, 42–43.
13. Gopkalo, A.P., Klipachevsky, V.V. (2015) Effect of surfacing on stress-strain state of rollers of machines for continuous casting of billets. *The Paton Welding J.*, **5-6**, 140–141. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2015.06.31>
14. Brodovoj, V.A., Mikheev, P.P., Knysh, V.V. et al. (2003) Effectiveness of fatigue crack retardation by the field of compressive residual stresses. *The Paton Welding J.*, **8**, 49–50.

15. Samotugin, S.S., Leshchinsky, L.K., Mazur, V.A., Samotugina, Yu.S. (2013) *Tool materials: properties and hardening*. Mariupol, PGTU.
16. Leshchinsky, L.K., Samotugin, S.S. (2005) *Lamellar surfaced and hardened compositions*. Mariupol, Novyi Mir.
17. Dombrovsky, F.S., Leshchinsky, L.K. (1995) *Serviceability of surfaced rolls of billet continuous casting machines*. Kyiv, PVI.
18. Korotkov, V.A., Chubelov, V.A. (2000) Depositing contact-loaded surfaces with alternating hard and soft sections. *Welding Intern.*, 14(9), 722–724. DOI: <https://doi.org/10.15407/10.1080/09507110009549257>
19. Ryabtsev, I.O., Knysh, V.V., Babinets, A.A., Solovej, S.O. (2022) *Fatigue life of surfaced parts*. Kyiv, Interservice.
20. Ryabtsev, I.A., Babinets, A.A., Ryabtsev, I.I. (2016) Fatigue life of multilayer hard-faced specimens. *Welding Intern.*, 30(4), 305–309. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2015.1058004>
21. Ryabtsev, I.A., Senchenkov, I.K. (2013) *Theory and practice of surfacing works*. Kyiv, Ekotekhnologiya.
22. Senchenkov, I.K., Chervinko, O.P., Ryabtsev, I.A. (2015) Calculation of fatigue life of cylindrical parts at multilayer surfacing and service cyclic thermo-mechanical loading. *The Paton Welding J.*, 5-6, 134–139. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2015.06.30>
23. Senchenkov, I.K., Chervinko, O.P., Ryabtsev, I.A., Babinets, A.A. (2014) Determination of the service life of hard-faced components under thermal and cyclic loading. *Welding Intern.*, 28, 1, 80–84. DOI: <https://doi.org/10.1080/09507116.2013.796661>
24. Babinets, A.A., Ryabtsev, I.A., Kondratiev, I.A. et al. (2014) Investigation of thermal resistance of deposited metal designed for restoration of mill rolls. *The Paton Welding J.*, 5, 16–20. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2014.05.03>
25. Barvinko, A.Yu., Knysh, V.V., Barvinko, Yu.P., Yashnik, A.N. (2012) Development of surface crack-like defect in welded joints of 06GB-390 steel at cyclic loading. *The Paton Welding J.*, 5, 40–42.
26. Knysh, V.V., Solovej, S.O. (2013) Increase in fatigue resistance of welded joints with accumulated fatigue damage. *Visnyk TNTU*, 3, 189–197.
27. Knysh, V.V. (2014) Method of calculation assessment of cyclic crack resistance in metal cyclic elements taking into account the influence of welding residual stresses. In: *Fracture mechanics and physics of construction materials and structures*. Ed. by Y.Y.Luchko. Lviv, Issue 10, 239–250.
28. Knysh, V.V., Solovej, S.A., Nyrkova, L.I. et al. (2016) Improvement of cyclic fatigue life of tee welded joints by high-frequency mechanical peening under the conditions of higher humidity and temperature. *The Paton Welding J.*, 3, 19–24. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2016.03.02>
29. Ryabtsev, I.O., Babinets, A.A., Student, O.Z. et al. (2022) Substantiation of the choice of materials for surfacing based on the fractographic analysis of fatigue fractures. *Mater. Sci.*, 58(1), 126–134. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11003-022-00640-8>

METHODS FOR INCREASING FATIGUE LIFE OF DEPOSITED PARTS (Review)

I.O. Ryabtsev, A.A. Babinets, I.I. Ryabtsev, I.P. Lentjugov

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: ryabtsev39@gmail.com

A review of literature data on the problem of increasing the fatigue life of welded parts operated under the simultaneous action of various types of wear and cyclic mechanical loads is presented. It is shown that an increase in the fatigue life of deposited parts can be achieved by rational selection and optimisation of the chemical composition of surfacing materials, development of the optimal design of deposited layers and use of the technology of sequential surfacing of hard wear-resistant layers and intermediate layers with high ductile characteristics. Ref. 29, Fig. 5.

Keywords: arc surfacing, multilayer surfacing, repair surfacing, ductile sublayer, fatigue life, fatigue cracks, stress intensity factor

Отримано 27.11.2024

Отримано у переглянutoму вигляді 12.02.2025

Прийнято 24.03.2025

