

The selected binary image is then subjected to computer processing according to a specially developed algorithm, which ultimately allows to calculate the generalized Regny fractal dimensions spectrum and, in particular, the usual fractal dimension (Haudorf-Bezикович) as a multifractal rough characteristic, its informational (D_1) and correlational (D_2) dimensions, as well as; the orderliness degree and homogeneity degree of the weld metal structure.

Conclusions. As a result of the conducted research, it is shown that the use of the fractal formalism for the inclusions analysis in weld metals allows:

- to obtain information about the metal structural state in numerical form (quantitatively assess the dispersion and fragmentation degree). The using welds initial characteristics according such computer modeling makes it possible to significantly improve the developed models quality;
- ultimately calculate the fractal dimension for the corresponding samples structures and obtain a complete picture of the structural components influence on the metal mechanical characteristics;
- in the future, the numerical modeling of the welding technology and the welding consumables composition influence on the weld metal mechanical properties, taking into account metal structural features.

At the same time, the actual involvement of fractal and multifractal parameterization acts as an comprehensive approach essential part to solving the problem of creating technological welding processes that provide a guaranteed weld metal properties level. The thermodynamic modeling of phases formation in the weld metal, these phases kinetic growth in welding conditions, shall be basing on fractal approach to the weld metal structure description and adequate methods of numerical assessment of its properties.

References

1. Effect of modification of weld metal of high-strength low-alloy steels on their structure and properties / [Kostin V.A., Zhukov V.V., Berdnikova O.M., Holovko V.V. and Kushnaryova O.S.] // The Paton welding journal. – 2021. – №5. – p.57-63.
2. Shtofel O.O. Application of fractal and metallographic analyses for evaluation of quality of weld metal/ Shtofel O.O., Holovko V.V. and Chyzhska T.G. // The Paton welding journal. – 2021. – №5. – 64-69.

УДК 621.78

Дубовий О. М., докт. техн.наук, професор

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв,
oleksandr.duboviy@nuos.edu.ua

Лебедєв В. О., докт. техн. наук, професор

Лой С. А., старший викладач

Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова, valpaton@ukr.net

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДРЕКРИСТАЛІЗАЦІЙНОЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЛЯ ПОЛІПШЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ

Існує цілий ряд методів покращення властивостей покриттів, які виконані розповсюдженим методом плазмового напилення. Треба згадати вибір матеріалів в тому числі нанорозмірних порошків для отримання шару напилення певної структури, застосування оптимальних режимів ведення процесу, вдосконалення існуючих та розробку нових високоефективних вузлів установок для напилення. Все це широко представлено в роботах [1, 2]. Є й інноваційні розробки, які стосуються застосування імпульсних методів впливу на процес плазмового напилення. Можна вказати і на деякі комбіновані, або комплексні техніко – технологічні рішення.

Окремо розглядаються інноваційні розробки, які стосуються передрекристиалізаційної термічної обробки напиленого плазмою шару покриття в якості дієвого способу впливу на його деякі фізико-механічні характеристики. Насамперед це стосується твердості покриття

[3]. Ця характеристика визначалася експериментальним шляхом для низки матеріалів самих покриттів, а також матеріалів, на яке виконувалось напилення. Для прикладу [4] розглянемо плазмове напилення двома способами – на відкритому повітрі та застосуванням плазмотвірного газу аргону. Експериментальне напилення проводилося на різних установках для напилення з використанням порошків фракції 40...80 мкм отриманих з нержавіючої сталі ПХ18Н15, нікелю ПНК-2К10.

Мета роботи – дослідити вплив температури рекристалізації T_{pk} та часу процесу t_{pk} на кінцевий показник твердості зразків HV_{pk} з отриманням залежності для певних умов та матеріалів:

$$HV_{pk} = f(T_{pk}, t_{pk}) \quad (1)$$

На графіках (рис.1) представлені залежності по (1).

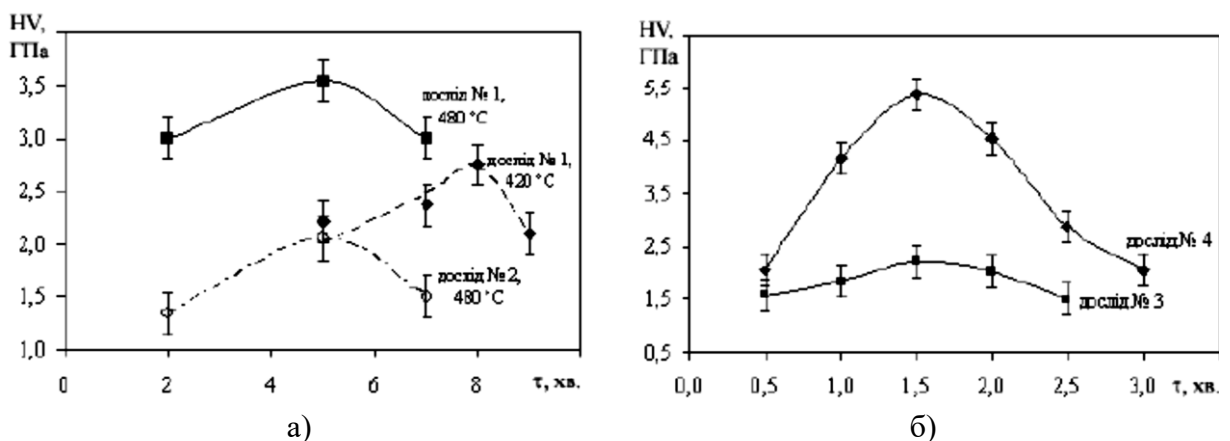


Рис. 1 – Залежності твердості плазмового напилення від часу витримки при певній температурі ПНК-2К10 (а) та ПХ18Н15 (б) термічній обробці

Твердість напилення на установці з плазмоутворюючим газом - повітрям складала 2,05 ГПа. Швидкість руху порошка на цій установці була більшою, ніж на установці з використанням плазмоутворюючого газу – аргону де твердість напилення складала 1,4 ГПа.

Визначення впливу часу дії температури початку первинної рекристалізації 480 і 420 °C (досліди 1) на зразки з плазмовими покриттями з ПНК-2К10 показало, що твердість HV_5 спочатку підвищується, досягає максимальних значень і далі знижується. Можна зазначити, що ці залежності мають екстремальний характер.

Показані на макрошліфах (рис. 2) дослідження мікроструктури плазмових покриттів із ПНК-2К10 на оптичному мікроскопі при збільшенні $\times 500$ і на електронному мікроскопі РЭММА-102-02 при збільшенні $\times 3000$ показали, що зміни в мікроструктурі покриттів до і після термічної обробки не спостерігаються. Це свідчить про те, що зміцнюючий ефект забезпечують структурні елементи розміром менше 0,5 мкм.

Максимальна твердість досягається після термічної обробки при 480 °C з витримкою 5 хв (охолодження на повітрі) і складає 3,45 ГПа (дослід 1) та 2,05 ГПа (дослід 2). При 420 °C максимальне значення твердості 2,75 ГПа (дослід 1) досягається після витримки 5 хв. Отримані показники на 30...70 % вищі від твердості цих покриттів у стані після напилення.

Режими напилювання в досліді 1 забезпечували більш високу швидкість частинок порошку, ніж у досліді 2, що відповідає більшій деформації при формуванні покриття.

Вивчення твердості плазмового покриття ПХ18Н15 від часу дії при температурі первинної рекристалізації при термічній обробці проводилося на режимах, що забезпечують різну величину деформації частинок порошку при формуванні покриття, що обумовлено більшою швидкістю напилення.

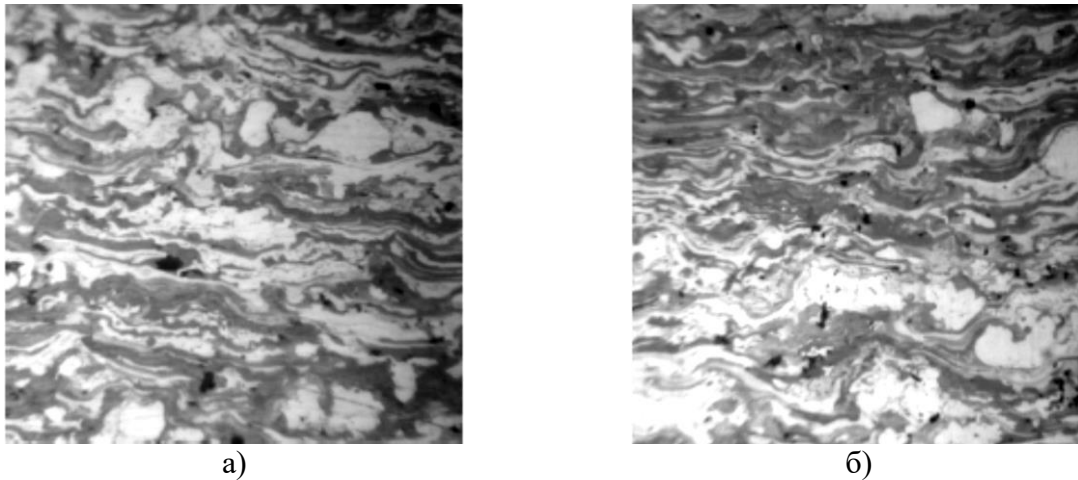


Рис. 2 – Мікроструктура плазмових покриттів із ПНК-2К10 ($\times 500$): а – покриття без термічної обробки; б – покриття після термічної обробки (480 °С, витримка 5 хв)

Режим напилування плазмового покриття в досліді 3 забезпечував меншу деформацію частинок порошку, ніж у досліді 4. Максимальне значення твердості для обох дослідів досягається після витримки 1,5 хв (при 880 °С) і складає відповідно 1,58 і 3,63 ГПа.

З наведених результатів експериментальних досліджень можна вивести, що твердість покриття виконаного плазмовим напилення після дії певних температур залежить від ступеню деформації часток напилення, яке обумовлюється швидкістю їх нанесення v_n . Таким чином залежність (1) розширюється до

$$HV_{pk} = f(T_{pk}, t_{pk}, v_n) \quad (2)$$

Можна стверджувати, що залежність (2) має багатокomпонентний характер і не є такою, яка повністю досліджена, але ті результати, які відомі на теперішній час дають підстави для більш широкого кола досліджень та впровадження вже отриманих результатів у виробничі процеси нанесення плазмових покриттів не тільки зазначених матеріалів, а й інших розповсюджених напилюваних порошків.

Таким чином вже отримані результати є такими, за якими можна вибрати оптимальні режими термічної обробки напилених покриттів, що забезпечують підвищення значення твердості шару на 20 – 70 %

Плазмове напилення не єдина технологія, на якій можна отримати результати з збільшення твердості покриття при застосуванні способу термічної обробки для поліпшення результатів. Досягнуті певні результати при передрекristалізаційній термічній обробці матеріалів для процесів з виконанням електродугових та газополумених покриттів і це потребує окремого розгляду

Треба вказати на інші ефекти які можна отримати застосовуючи розглянутий спосіб термічної обробки вузлів та деталей, які напилюються. Це насамперед стосується коефіцієнту теплопровідності. Передрекristалізаційна термічна обробка забезпечує зниження цього коефіцієнту на 15 %, а в деяких випадках навіть більше 30%, що, наприклад, може бути застосовано при виконанні теплозахисних покриттів, особливо при плазмовому напиленні робочих вузлів газотурбінних агрегатів [5].

В перспективі визначення можливостей передрекristалізаційної термічної обробки при виконанні електродугового наплавлення з метою зміцнення наплавленого шару.

Список посилань

1. Лебедев В.А. Модернизация плазмотрона для напыления на воздухе и в контролируемой атмосфере (в вакууме). / Лебедев В.А., Лой С.А. //Вісник Національного технічного університету “ХП”. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – 2019. – №10. – с. 21-29.

2. Володимир Лебедев. Можливості покращення якості плазмового напилення при зміцненні та відновленні вузлів та деталей сільськогосподарської та іншої техніки / Володимир Лебедев, Сергій Лой, Володимир Спіхтаренко. // Технічні науки та технології. – 2022. – №1. – с. 92-100.

3. Антон Карпаченко. Наноструктурування кристалічних матеріалів та напилених покриттів передрекристиалізаційною термічною обробкою / Антон Карпаченко, Тетяна Макруха, Олександр Дубовий, Максим Бобров. // Технічні науки та технології. – 2022. – №3. – с.27-36

4. Дубовий О.М. Вплив передрекристиалізаційної термічної обробки на фізико – механічні властивості напилених покриттів та деформованих металів та сплавів / О.М. Дубовий, Н.Ю. Лебедева, Т.Н. Янковець. //Металознавство та обробка металів. – 2010. – №3. – с.7-11.

5. Лебедев В.О. Особливості формування (структурування) та властивості теплозахисних покриттів при плазмовому напиленні / Лебедев В.О., Дубовий О.М., Лой С.А. //Технічні науки та технології. – 2020. – №1. – с.39-48.

УДК 62-503.55

Лебедев В. О., докт. техн. наук, професор

Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, valpaton@ukr.net

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН МЕТАЛУ ПРИ МЕХАНІЗОВАНОМУ ЕЛЕКТРОДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ-НАПЛАВЦІ З ІМПУЛЬСНИМИ АЛГОРИТМАМИ ВПЛИВУ

Важливими при зварюванні та наплавленні є дослідження напружено-деформованого стану виробу, який зазнає нагрівання та подальшого охолодження, що веде до його деформування та наявності залишкових напружень у зоні термічного впливу. Основна причина виникнення залишкових напружень - це ускладнене розширення і стиснення основного металу при його нагріванні під час наплавлення і подальшому охолодженні [1].

Існує достатньо велика кількість способів, техніко – технологічних рішень, де в тій чи іншій мірі вирішуються проблеми пов'язані з напружено-деформованим станом металу при виконанні зварювальних робіт чи робіт по наплавленню.

Спосіб, здатний при однаковій продуктивності наплавлення зменшити величину залишкових напружень, має перевагу над іншими. Як відомо, електродугове зварювання та наплавлення з використання імпульсної подачі електродного дроту характеризується строгою регульованою циклічністю за тривалістю горіння дуги, без втрат у продуктивності процесу, що впливає на кількість теплоти, що вноситься в основний метал і як наслідок, - на величину залишкових напружень.

Можна зазначити, що найбільш небезпечними при зварюванні плавленням є напруження, розтягу. При їх перевищенні в локальних обсягах більше величини σ_T напружено-деформований стан характеризується переходом з пружної зони до пружно-пластичної, де залежно від ступеня такого перевищення збільшується інтенсивність збільшення пластичної деформації. У макрооб'ємах зварних з'єднань про цей перехід свідчать напруження, що дорівнюють межі плинності даного матеріалу.

Для перевірки було проведено дослідження на режимі з параметрами $I = 220$ А, $U = 26$ В. Частота імпульсної подачі електродного дроту встановлювалася з значеннями 1, 20, 30, 40 Гц, шпаруватість 1, 3, 5 од.

Визначення залишкових напружень в елементах конструкцій проводилося на основі застосування електронної спекл-інтерферометрії та методу кінцевих елементів [2].

Наплавлення валиків проводилося електродним дротом 30ХГСА (для наплавлення) діаметром 1,2 мм.

Були виконані одношарові наплавлення на певних режимах для визначення залишкових напружень біля шва та біляшовної зони.