

суцільним, а в інших досліджених сталях місцями він розірваний. Це вказує на те, що збільшення об'єму металу в результаті гартування стали 10 було меншим чим в інших сталях, і тому не викликало руйнування суцільного шару карбідів.

Термічна обробка дифузійного шару, який утворюється в процесі дифузійного хромування на вуглецевих сталях 45, У8 і У13 трохи знижує твердість карбідного шару, і не перешкоджає гартуванню серцевини металу, що є сприятливим для покриттів, в порошкових сумішах яких є присутнім хром.

Література:

1. Заблоцкий В. К., Дьяченко Ю. Г. Влияние диффузионного хромирования на твердость и микроструктуру режущей кромки инструмента из углеродистых сталей. // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Краматорск, – 2005. – №17. – С. 241-245.
2. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник / Под ред. Л.С. Ляховича. – М.: Металлургия, 1981. – 422 с.

**Єфіменко М.Ю.¹, Цисар М.О.², Ключков І.М.², Мотруніч С.І.², Бабак А.М.¹,
Головенько Я.Б.¹**

**(¹КПІ ім. Ігоря Сікорського; ²ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ)
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ВЛАСТИВОСТІ
ТИТАНОВОГО СПЛАВУ Ti-6Al-4V ВИГОТОВЛЕНОГО ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ
ВИБІРКОВОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕННЯ (ВЛП)**

E-mail: maks.efimenko.9925@gmail.com

Технологія вибіркового лазерного плавлення (ВЛП) передбачає декілька етапів: (1) одночасний підйом і спуск платформ подачі порошку та робочої із сталевою змінною пластиною; (2) формування шару порошку товщиною 50 мкм за рахунок переносу його часток в робочу зону гнучким гумовим лезом; (3) формування двовимірної шару згідно тривимірної моделі лазерним плавленням [1]. Після чого операції повторюються з першої по третю до виконання повного друку за сформованої програмою. Схематично принцип роботи Concept laser M2

можна представити у вигляді схеми, яку представлено на рис. 1. В моделі Concept laser M2 передбачено функцію корегування друку за даними лазерного сканування попереднього сформованого шару [1]. Таке корегування необхідне для поліпшення зв'язку між шарами та підвищення щільності друкованого матеріалу [2].

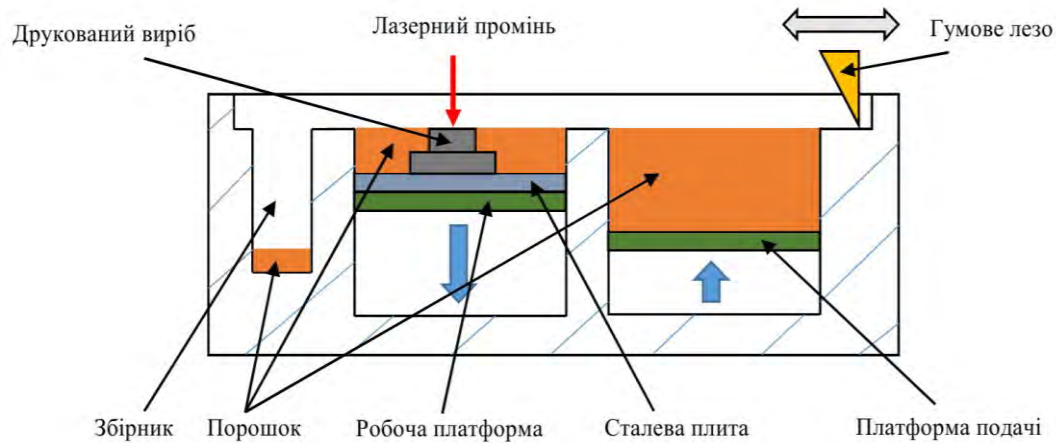


Рис. 1. Схема секційної будови Concept laser M2 системи подачі порошку

Друк здійснювався на основі порошку зі сплаву титану Ti-6Al-4V, що постачався фірмою канадською AP&C, згідно ASTM B822 [3] із розміром часток 10...100 мкм. Зерна порошку мають округлу форму завдяки методу отримання, розподіл за гранулометричним складом та їх зображення наведено на рис. 2.

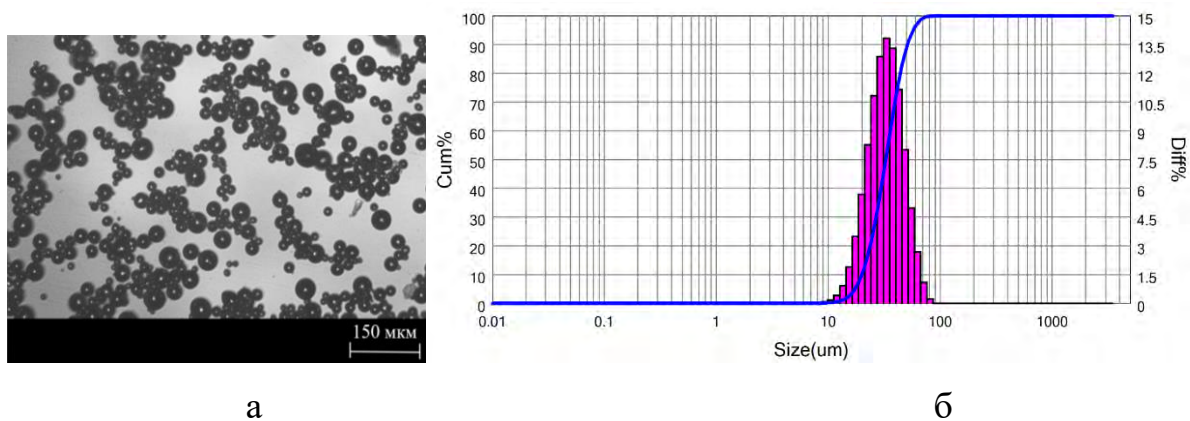


Рис. 2. Зерна порошку Ti-6Al-4V: а – загальний вигляд; б – розподіл за гранулометричним складом

Традиційне лиття титану має ряд несприятливих факторів, які існують для цього металу, а саме: розплавлений титан є дуже хімічно активний і взаємодіє із

більшістю газів в атмосфері, матеріалами тигля та ливарної форми [4]. Тому плавка здійснюється в атмосфері аргону, також необхідно підтримувати шар твердого титану між тиглем і розплавленим металом для чого дуга спрямовується безпосередньо в центр засипки із підтримкою відповідного температурного градієнту. Технологія ВЛП не позбавлений цих вад. Вихідний порошок вже має в собі забруднення сторонніми металами та атмосферними газами. Номінальний хімічний склад вихідного порошку наводиться в табл. 1. Плавка лазером також проводиться в середовищі аргону. Проте вона має і ряд переваг наприклад відсутня необхідність в тиглі та ливарній формі.

Таблиця 1 – Номінальний хімічний склад порошку Ti-6Al-4V

C	Al	V	Fe	H	O	N	Y	Доміш.	Ti
0,01	6,25	3,95	0,22	0,002	0,10	0,01	0,001	0,40	89,057

Дослідні зразки мали форму призми квадратного поперечного перетину, розміром 11x11x65 мм. Друк здійснювався в вертикальному напрямку. Схематично пошарове накладання можна представити у вигляді рис. 3, а відмінність відмічених на рисунку шарів А та В складається в тому, що напрямок проходу лазера в них взаємно перпендикулярний (див. рис. 3, б), що підтверджується зображенням верхньої частини зразка із цифровим маркуванням рис. 3, в.

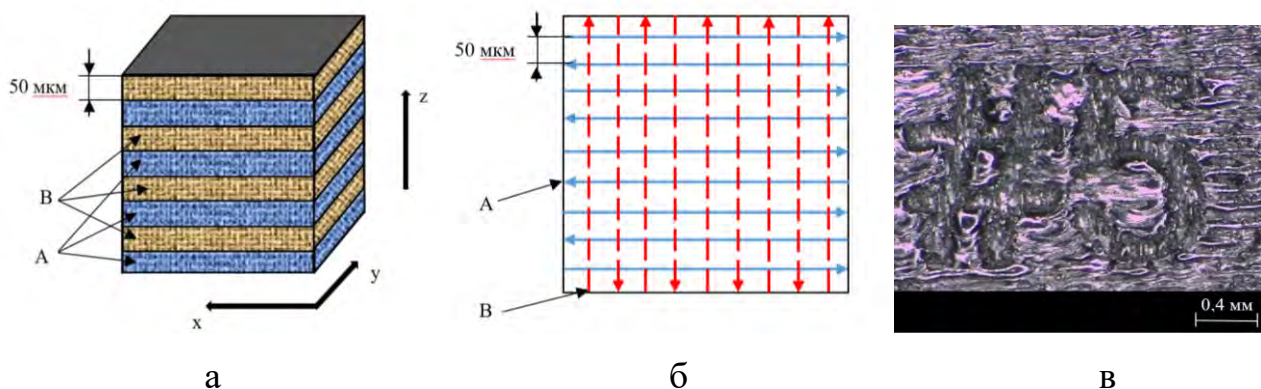


Рис. 3. Друкований зразок: а – схема друку в напрямку вісі z; б – схема проходу лазера для шарів А та В в площині x,y; в – зображення поверхні зразка на ділянці цифрового маркування

Дослідження поверхні оптичними методами показали, що на поверхні базових зразків залишаються частки порошку, що в неї вплавляються (рис. 4, а), поверхня термообробленого зразку часток не містить (рис. 4, б).

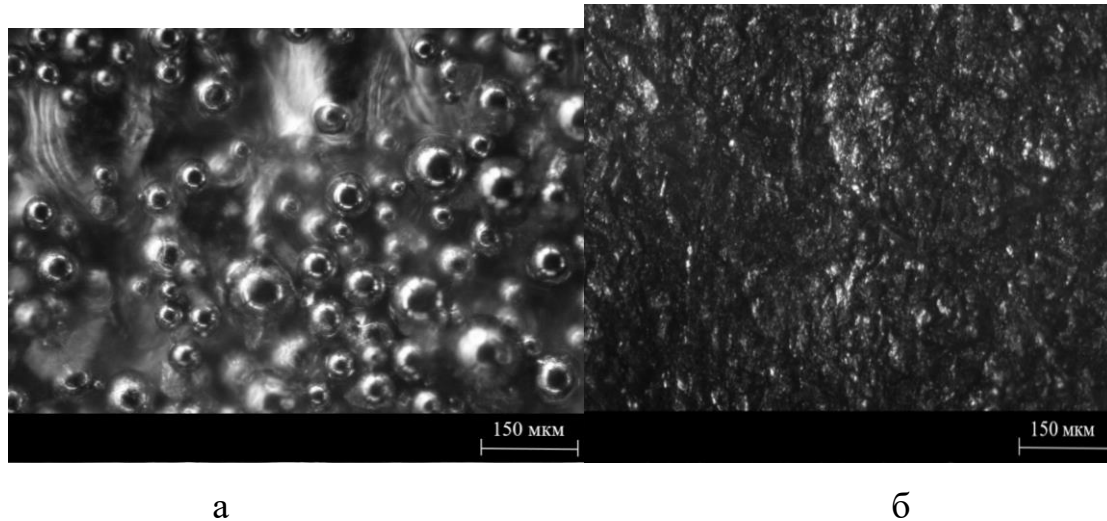


Рис. 4. Зображення поверхні дослідних зразків: а – базового; б – термообробленого

Для дослідних зразків було отримано профілограми поверхонь та обраховано параметри шорсткості. Так для базового зразку параметри шорсткості $R_a = 7,49$ мкм та $R_z = 41,60$ мкм, шорсткість термообробленого зразка була майже в двічі нижчою і склала $R_a = 4,03$ мкм та $R_z = 20,73$ мкм.

Густина порошку Ti-6Al-4V, фактично співпадає із теоретичною густиною матеріалу і складає 4501 кг/м^3 . Густина зразку базового, після друку без додаткової обробки, складає 4402 кг/м^3 відповідно густина термообробленого зразку складає 4459 кг/м^3 . За значеннями густини було обраховано значення істинної пористості, що склала 2,17% та 0,91% для базового та термообробленого зразку відповідно.

Також для зразків було вимірено коерцитивну сила на пристрої «Кобальт-1». Коерцитивна сила для базового зразка склала 2,0 А/см натомість для термообробленого 3,4 А/см зміна коерцитивної сили свідчить про фазові переходи

другого роду, а також зняття залишкових напружень, що виникли в зразку в процесі друку.

Попередні дослідження друківаних зразків сплаву титану Ti-6Al-4V вихідного та термообробленого є поштовхом до більш детального вивчення. Наприклад вплив термічної обробки на шорсткість в процесі фінішної обробки. Варіювання температурного діапазону для дослідження її впливу на пористість. Зміна коерцитивної сили свідчить про структурні зміни, а також можливе збільшення міцності, що також потребує додаткових досліджень.

Література:

1. The influence of the laser scan strategy on grain structure and craking behavior in SLM powder-bed fabrication nikel superalloy/ L.N. Carter, C. Martin, P.J. Withers, M.M. Attallah // J. of Alloys add Compounds. – 2014. – № 615. – pp.338-347.

2. Дослідження впливу параметрів виготовлення за технологією вибіркового лазерного плавлення (ВЛП) та порівняння дослідження механічних властивостей алюмінієвого сплаву AlSi10Mg різного способу виробництва/ С.В. Аджманські, Г.А. Кононенко, Р.В. Подольський // Нові матеріали в металургії та машинобудуванні. – 2022. – №2. – С.40-44.

3. ASTM B822 Standard Test Method for Particle Size Distribution of Metal Powders and Related Compounds by Light Scattering. - 2020

Зам'ятін М.І., Лисенко Т.В., Карамушко А.В., Зам'ятін В.М.
(Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса)
АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЮВЕЛІРНОГО ВИРОБНИЦТВА НА ДОВКІЛЛЯ
E-mail: zamyatin.m.i@op.edu.ua

Ювелірне виробництво, як і будь-яке інше виробництво, значно впливає на навколишнє середовище.

Серед процесів виробництва ювелірних виробів можна виділити такі, як механічна обробка матеріалів та виробів та ювелірне лиття.