

Although the hardness of the Ti-Al-V alloy is 30-36 % higher, it exhibits lower plasticity and a propensity for crack formation due to the uneven distribution of zones across its surface.

These findings support the recommendation of the Zr-Ti-Nb alloy for further investigation and potential implementation in the production of medical implants.

References

1. Cytocompatibility assessment of Ti-Zr-Pd-Si-(Nb) alloys with low Young's modulus, increased hardness, and enhanced osteoblast differentiation for biomedical applications / Blanquer A., Musilkova J., Barrios L., Ibanez E., Vandrovcova M., Pellicer E., Sort J., Bacakova L., Nogues C. // J. Biomed. Mater. Res. B. Appl. Biomater. – 2018. – Vol.106. – No.2. – P.834-842.

2. New Zr-Ti-Nb alloy for medical application: development, chemical and mechanical properties, and biocompatibility / Mishchenko O., Ovchynnykov O., Kapustian O., Pogorielov M. // Materials. – 2020. – Vol.13. – No. 6. – Art. No. 1306.

**Аджамський С. В.^{1,2}, Кононенко Г. А.^{1,3,4}, Бадюк С. І.^{1,5},
Подольський Р. В.^{1,3,5}, Балаханова Т. В.³
(¹ТОВ АЛТ Україна, м. Одеса; ²ІТСТ НАНУ, м. Дніпро; ³ІЧМ НАН України,
м. Дніпро; ⁴НТУ «Дніпровська Політехніка», м. Дніпро; ⁵ІПСУ НАНУ, м. Київ)
**РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО РЕЖИМІВ ДРУКУ ЗАДЛЯ
МІНІМІЗАЦІЇ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ, ВИГОТОВЛЕНИХ
МЕТОДОМ LPBF****

Виробництва деталей способом Laser Powder Bed Fusion (LPBF) останні роки набуває широкого впровадження. Це пов'язано з можливістю швидкого прототипування деталей з досягненням високої щільності високодисперсної зеренної структури, що в свою чергу сприяє формуванню високих механічних властивостей. Але слід зазначити, як і всі технології виробництва деталей, дана технологія має ряд актуальних матеріалознавчих питань, що потребують уваги.

Вони переважно пов'язані з шорсткістю, розробкою нових параметрів термічної обробки, яка має враховувати дисперсність структурних складових та особливості процесу виготовлення, вплив технологічних параметрів виготовлення та ін. Нехтування вирішенням даних питань може спричинити ряд дефектів, розвиток яких буде прогресувати з часом та призводити до руйнувань.

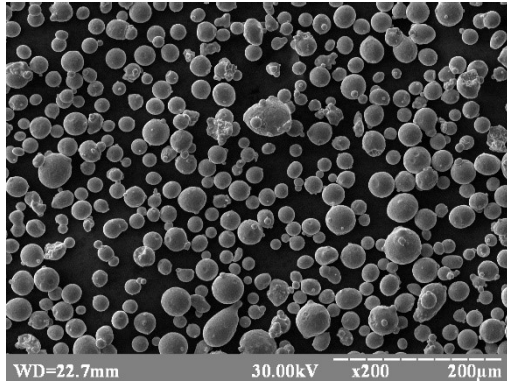
Одним з важливих питань є виготовлення деталей з мінімізацією зміни шорсткості по площі поверхні та внутрішніх каналів деталей відповідального призначення. Висока шорсткість, як відомо, може чинити значний вплив на службові властивості, а також слугувати концентраторами напружень для майбутнього руйнування.

При виготовленні деталі за LPBF-технологією переважно складаються з поодиноких треків, що в свою чергу в сукупності багатьох проходів лазерного променя формують текстуровану пелюсткову структуру з направленими осередками кристалізації. Сукупність треків в залежності від розташування по площі деталі відповідає трьом різним технологічним групам, а саме Down-skin, In-skin та Up-skin, що в свою чергу характеризує зони з різними параметрами шорсткості через різнонаправлені умови формування, а саме Down-skin – група треків, що сканується в області нахилених граней ($91-179^\circ$ до вертикальної осі побудови Z), що наближені до платформи, In-skin – група треків, що формує основне тіло деталі, та Up-skin – група треків, що сканується в областях нахилених граней ($1-90^\circ$ до вертикальної осі побудови Z). Групи треків Up-skin та Down-skin можуть мати різні технологічні параметри на відміну від In-skin, яких переважна кількість (близько 90 % деталі), але дані групи переважно є ділянками поверхні деталей (приблизно 70 %) всієї поверхні площі деталей. Таким чином саме ці елементи є первинним елементом деталі, що чинить опір при навантаженнях різного роду.

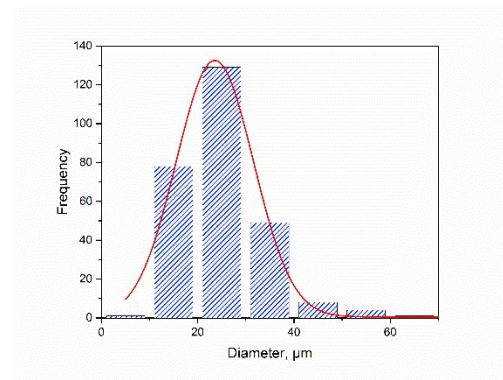
Таким чином з врахуванням незначного об'єму цих груп близько 10% значна кількість, яких є 70 % поверхні деталей вони є одним з основних елементів концентраторів напружень при майбутньому руйнуванні, що в свою чергу вказує

на актуальність визначення технологічних параметрів з метою формування найменшої шорсткості.

Вихідний матеріал був досліджений за допомогою растрового електронного мікроскопа РЕМ-106 (рис. 1, а) для визначення форми і розмірів частинок. На рис. 1, б наведено результати аналізу.



а



б

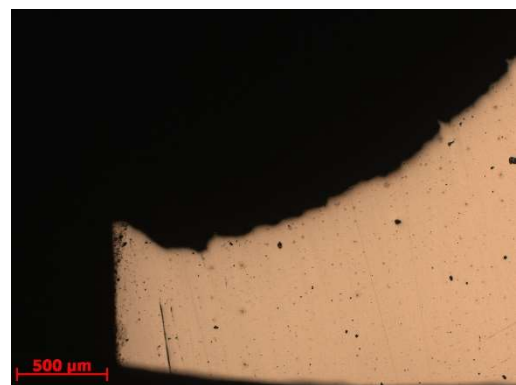
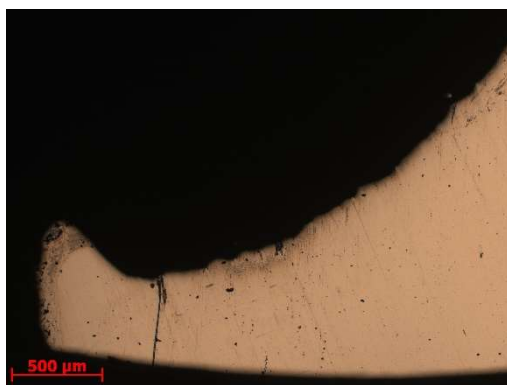
Рис. 1. Частинки вихідного матеріалу 316L при збільшенні 200 крат (а) та результати гранулометричного аналізу (б)

Було виготовлено партію дослідних зразків (з 9 шт.) з геометричними параметрами, наближеними до зразків для випробування на розтягування з діаметром робочої зони 5 мм з нержавіючої сталі 316L при товщині шару 40 мкм. Технологічні параметри виготовлення представлені в табл. 1.

Порівняльні металографічні дослідження дозволили встановити, що в залежності від застосованих параметрів виготовлення, група поодиноких треків, яка формувала зону Up-Skin дослідного зразка №2 та №7 (рис. 2) мають незначну кількість виступаючих елементів сполучення та мають більш рівномірну зону порівняно з іншими дослідними зразками з партії дослідних.

Таблиця 1 – Технологічні параметри виготовлення дослідних зразків

№ зразка	Потужність, Вт	Швидкість сканування, мм/с	Відстань між треками, мм	Діаметр фокусної плями, мм
1	240	1000	0,11	0,09
2	240	1000	0,12	0,09
3	240	1000	0,13	0,09
4	240	1000	0,11	0,065
5	240	1000	0,12	0,065
6	240	1000	0,13	0,065
7	240	1000	0,11	0,15
8	240	1000	0,12	0,15
9	240	1000	0,13	0,15



а

б

а – дослідний зразок №2, б – дослідний зразок № 7

Рис. 2. Металографічні дослідження групи Up-skin

При порівняльному аналізі дослідних груп одиничних треків Down-skin на особливості шорсткості рівномірності поверхні в даній зоні було встановлено, що

переважно дослідний зразок №9 з технологічними параметрами представленими в табл. 1, дозволяє досягнути шорсткості без наявної великої кількості відхилень по геометрії в області скруглення (зміни кута нахилу поверхні від 1 до 90° до осі Z). Слід зазначити, що дослідні зразки, які мали незначну шорсткість в області групи Up-Skin мали ділянки розшарування, несучільності міжтрекового простору в області Down-skin. Аналіз області групи треків Down-skin показав, що раціональними параметрами виготовлення даної групи є технологічні параметри: потужність 240 Вт, швидкість сканування 1000 мм/с, відстань між треками 0,15 мм, та діаметром фокусної плями 0,15 мм, що відповідають дослідному зразку №9 (рис. 3).

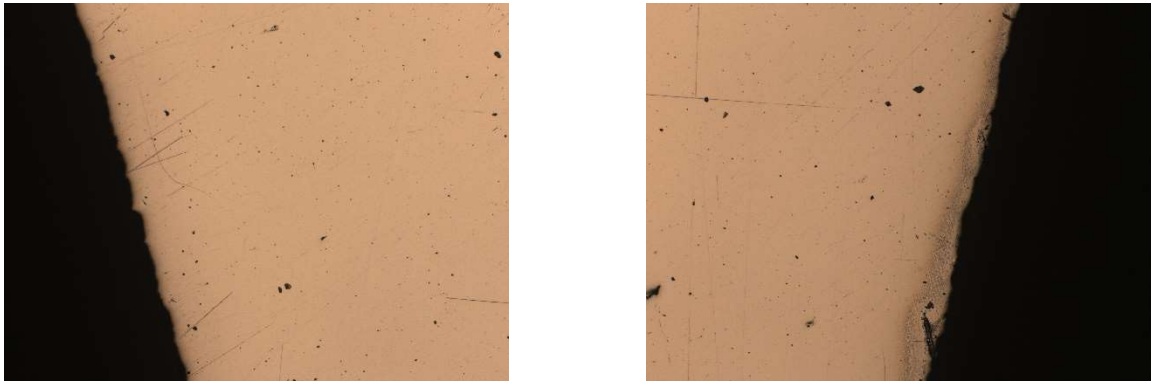


Рис. 3. Металографічні дослідження групи Down-skin зразка №9

Таким чином, в результаті отриманих досліджень встановлено раціональні параметри виготовлення, з використанням яких буде виконано друк дослідних зразків для випробувань на розтягування з метою визначення особливостей впливу технологічних параметрів на шорсткість та службові властивості сталі 316L, виготовлених за LPBF- технологією.