

Гранулометричні характеристики порошку сплаву VT20 отриманого методом відцентрового плазмового розпилення електроду

З. А. Дурягіна, доктор технічних наук, професор

А. М. Тростянчин, кандидат технічних наук

І. А. Лемішка

А. А. Скребцов*, кандидат технічних наук

О. В. Овчинников*, доктор технічних наук, професор

Національний університет «Львівська політехніка», Львів

*Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя

Встановлено гранулометричні характеристики порошків сплаву марки VT20 різного фракційного складу. Виявлено закономірності зміни полідисперсності частинок порошку в межах кожної фракції. Показано, що із зменшенням середнього розміру частинок порошку в окремій фракції розкид розмірів відносно цього значення інших частинок збільшується. Побудовано тривимірну діаграму, в якій представлена взаємозалежність між фракційним складом частинок порошку, їх середнім діаметром та ступенем неоднорідності.

Такі високотехнологічні галузі як авіабудування, машинобудування та космічна промисловість потребують виготовлення виробів з підвищеними експлуатаційними властивостями за мінімальних фінансових витрат, що вимагає від виробників економії матеріальних ресурсів та зниження собівартості готових виробів [1]. Досягти потрібного ефекту можна застосовуючи адитивні технології, які дозволяють формувати вироби складної конфігурації в рекордно короткі строки. Такі вироби переважно не потребують фінішної механічної обробки, що значно знижує вартість кінцевого продукту [2, 3].

В машинобудуванні основним матеріалом для виготовлення виробів методами адитивних технологій є металеві порошки. Серед них найбільш перспективними вважаються порошки титанових сплавів, завдяки високим експлуатаційним характеристикам, таким як висока питома міцність, втомна міцність, в'язкість руйнування і корозійна стійкість [4]. Існуюче обладнання для адитивних технологій таке як лазерні 3D-принтери використовують сферичні порошки. Отримання сферичних порошків є складним і дороговартісним технологічним процесом [5]. Тому комплексна робота по оптимізації параметрів технологічного процесу отримання вітчизняних порошків титанових сплавів потребує досягнення максимально можливого

ступеня однорідності сферичних частинок порошку та усунення дефектів із їх поверхні.

Враховуючи це доцільно проведення гранулометричного аналізу, що дозволить оцінити розподіл частинок за розмірами та встановити долю домінуючої частки порошку в кожній фракції.

З огляду на використання в аерокосмічній техніці для дослідження було вибрано сферичний порошок титанового сплаву VT20 (ГОСТ 19807-91), який отримано методами відцентрового плазмового розпилення електроду з цього сплаву [3].

Розподіл порошку за фракціями виконувався за допомогою ситового аналізу відповідно до ГОСТ Р 51568-99 за збільшення 50 та 100 разів. Гранулометричний аналіз виконували з використанням спеціалізованого матеріалознавчого комплексу аналізу зображень ImageJ [6]. Ступінь неоднорідності (полідисперсність) порошку, що залежить від двох параметрів: середнього розміру домінуючих частинок в певній фракції та стандартного відхилення розміру частинок порошку від їх середнього розміру, визначалася побудовою кривої Гауса на основі гістограм розподілу частинок в певній фракції [7]. Дослідження морфології будови порошку виконували на сканувальному електронному мікроскопі EVO 40XVP.

Для зручності ідентифікації проведено маркування досліджуваних фракцій порошоків титанового сплаву VT20 (табл. 1).

Таблиця 1

Маркування зразків порошку титанового сплаву VT20

Характеристика	Порошок титанового сплаву VT20				
Маркування	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5
Фракція, мм	0,63	+0,63-0,4	+0,4-0,25	+0,25-0,2	+0,125-0,1

Встановлено, що частинки порошку характеризуються переважно сферичною формою з невеликою розбіжністю за розмірами (рис. 1). Слід зазначити, що на поверхні деяких частинок присутні так звані «сателіти», наявність яких, погіршуючи сферичність, може викликати зниження технологічних властивостей порошку (насіпна густина, плинність) і запобігти формуванню якісного насипного шару під час виготовлення виробу [8]. Поверхня частинок порошку структурована та має зеренну будову, що може бути наслідком процесів кристалізації чи конденсації при їх формуванні.

Аналогічні закономірності можна побачити аналізуючи морфологічні особливості будови іншої фракції порошку титанового сплаву, що відповідає зразку 1-2 (рис. 1 б). У цій фракції кількість «сателітів» підвищилась та з'явилися частинки порошку малорозвиненої прямокутної форми. Такі відхилення у розмірах та формі спричинені недосконалістю режимів технологічного процесу відцентрового плазмового розпилення електроду. Натомість у більш дрібних фракціях не виявлено наявності частинок порошку малорозвиненої прямокутної форми (рис. 1 в, г), хоча «сателіти» залишилися. У найбільш дисперсній фракції порошку титанового сплаву

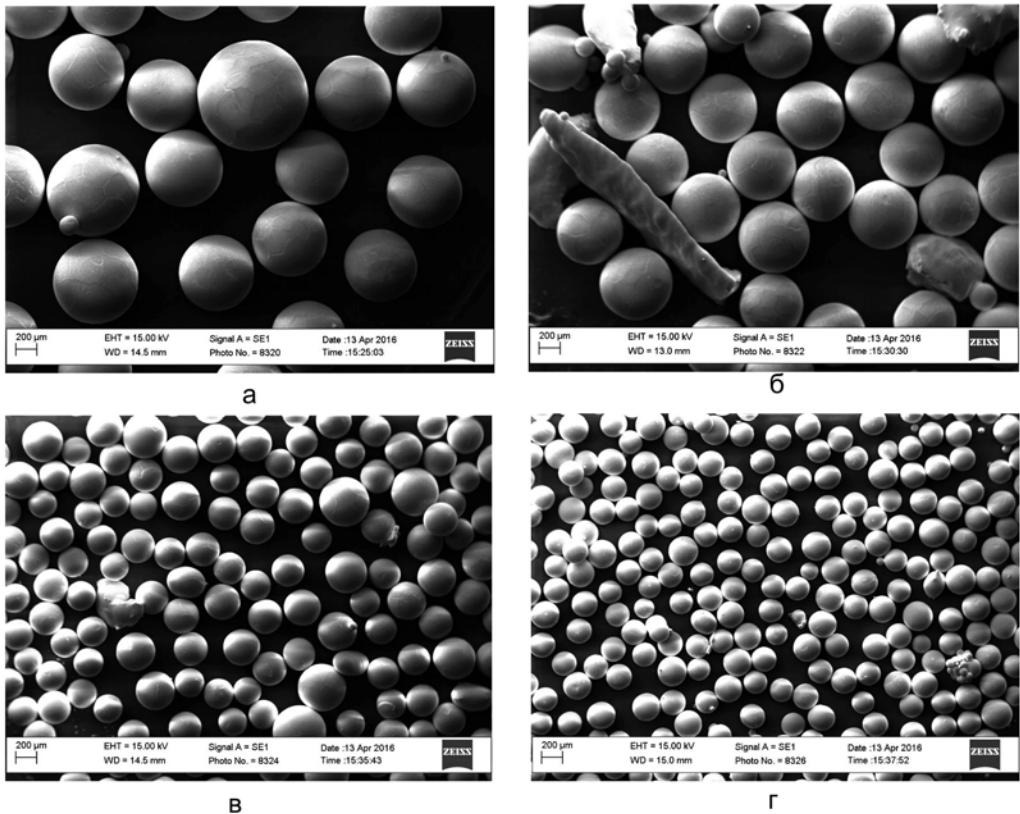


Рис. 1. Морфологія будови порошку сплаву BT20: а – зразок 1–1, б – 1–2, в – 1–3, г – 1–4.

виявлено велику кількість несферичних частинок. Це може бути спричинено порушенням інтенсивності відцентрового плазмового розпилення електроду на останніх стадіях технологічного процесу.

Для більш глибокого дослідження морфології будови порошків титанового сплаву різних фракцій і встановлення середнього розміру та долі домінуючих частинок порошку сплаву в межах однієї фракції проводили гранулометричний аналіз. Результати гранулометричного аналізу (рис. 2 а – е) свідчать про незначний розкид частинок за розмірами в межах кожної з досліджуваних фракцій та про взаємозалежність між фракційним складом порошку та ступенем його неоднорідності (табл. 2).

Таблиця 2

Полідисперсність частинок порошку сплаву BT20 різних фракцій

Маркування зразків	1–1	1–2	1–3	1–4	1–5 (сфер.)	1–5 (не сфер.)
Полідисперсність досліджуваних зразків, %	3,8	4,2	9,5	12,4	5,6	27,6

Технічна інформація

Аналіз розподілу Гауса (рис. 3 а – г) дозволяє зробити висновок, що із зменшенням середнього розміру частинок порошку в межах певної фракції, розкид розмірів відносно цього значення інших частинок забезпечення проводили відокремлення на зображеннях мікроструктур сферичних частинок порошку від не сферичних і аналізували їх окремо.

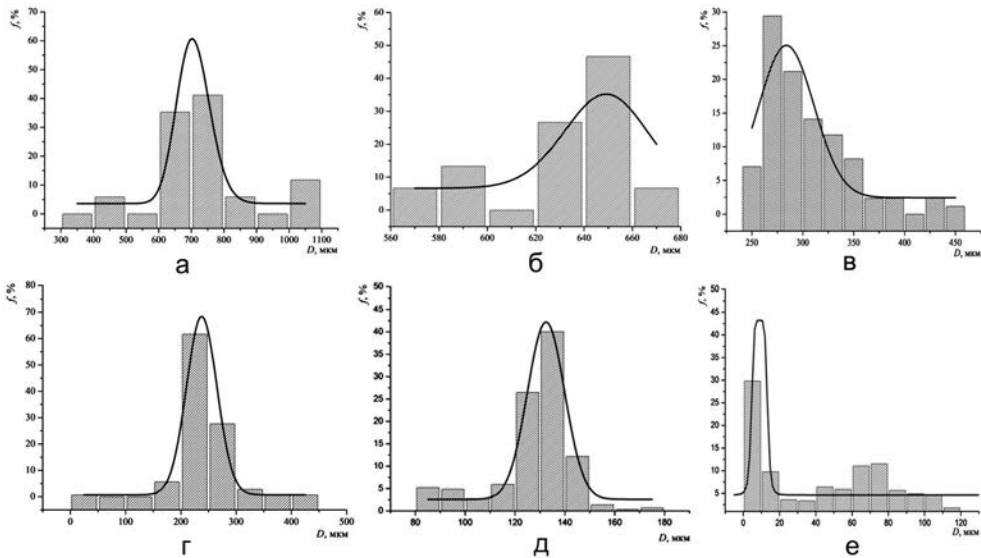


Рис. 2. Криві розподілу Гауса для частинок порошку досліджуваного сплаву VT20: а – зразок 1_1, б – 1_2, в – 1_3, г – 1_4, д – 1_5 (сферична доля порошку), е – 1_5 (не сферична доля порошку).

Аналіз полідисперсності частинок порошку досліджуваного сплаву показав, що найбільш нерівномірною за розподілом частинок і розмірами є надрібніша фракція (зразок 1–5). У цій фракції присутні як несферичні частинки порошку (57,7 %), так і сферичні (42,3 %) (рис. 2, табл. 3).

Таблиця 3

Розподіл частинок за формою (зразок 1–5)

Загальна кількість частинок в досліджуваному діапазоні	679 шт.	100 %
Кількість сферичних частинок в досліджуваному діапазоні	287 шт.	42,3 %
Кількість несферичних частинок в досліджуваному діапазоні	392 шт.	57,7 %

Показано, що ситовий аналіз розподілу частинок порошку титанового сплаву не дає можливості адекватно оцінити його розподіл за фракціями. Цим методом не вдається відокремити частинки із сателітами та ті, що не мають сферичної форми.

Тому інтерпретація отриманих результатів здійснена на основі аналізу тривимірної діаграми, що ілюструє взаємозалежність між фракційним складом частинок порошку, їх середнім діаметром та полідисперсністю (рис. 3).

Побудована діаграма дозволяє орієнтовно визначати полідисперсність фракційного складу порошку титанового сплаву марки VT20 і середній розмір частинок порошку у кожній фракції.

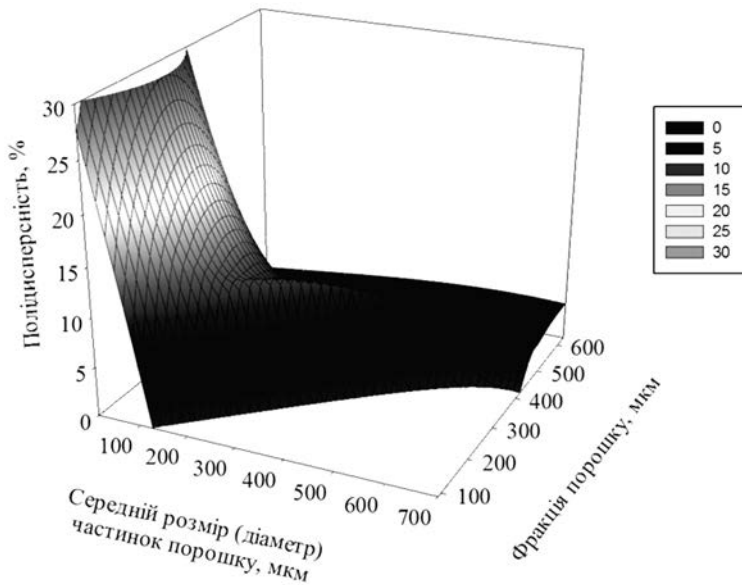


Рис. 3. Тривимірна діаграма для оцінки гранулометричних характеристик сплаву марки VT20.

Таким чином, за результатами проведених досліджень встановлено кількісний розподіл частинок за розміром у відповідній фракції. Показано, що зі зниженням дисперсності частинок порошку зростає його розкид за розмірами. Виявлено наявність значної кількості несферичної частки порошку у найбільш дисперсній фракції (+0,125-0,1) і встановлено, що полідисперсність такого порошку може сягати 30 %. На основі отриманих даних побудована тривимірна діаграма розподілу частинок порошку титанового сплаву марки VT20 та ступеню його неоднорідності в межах кожної фракції.

Література

1. Seong S., Younossi O., Benjamin W. Goldsmith. Titanium. Industrial Base, Price Trends, and Technology Initiatives // RAND Corporation. – 2009. – P. 156.
2. Довбыш В.М. Аддитивные технологии и изделия из металла // Библиотечка литейщика. – 2014. – № 9. – С. 14 – 71.
3. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении – Санкт-Петербург: Издательство политехнического университета, 2013. – 221 с.
4. Leyens C., Peters M. Titanium and Titanium Alloys. Fundamentals and Applications– ISBN: 3-527-30534-3, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim – 2003. – P. 532.
5. Titanium powder metallurgy / by Ma Qian, Francis H. Froes. – First edition. Butterworth-Heinemann, USA (2015).
6. Конохов А.Л., Руководство к использованию программного комплекса ImageJ для обработки изображений: Учебное методическое пособие. – Томск: кафедра ТУ, ТУСУР, 2012. – 105 с.

7. Микроскопические методы определения размеров частиц дисперсных материалов: учеб. пособие / Н. Н. Гаврилова, В. В. Назаров, О. В. Яровая. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. – 52 с.
8. Tang H. P., Qian M. and all. Effect of Powder Reuse Times on Additive Manufacturing of Ti-6Al-4V by Selective Electron Beam Melting // The Minerals, Metals & Materials Society (TMS) – Warrendale, 2015, – Vol. 67. – P. 555 – 563.

References

1. Seong S., Youossi O., Benjamin W. Goldsmith. Titanium. Industrial Base, Price Trends, and Technology Initiatives, *RAND Comporation*, 2009, p. 156.
2. Dovbysh V.M., Zabednov P.V., Zlenko M.A. *Bibliotekha litejshhika*, 2014, No 9, S. 14 –71.
3. Zlenko M.A., Popovich A.A., Mutylina I.N. *Additivnye tehnologii v mashinostroenii* (Additive technologies in mechanical engineering), Sankt-Peterburg: Izdatelstvo politehnicheskogo universiteta, 2013, 221 p.
4. Leyens C., Peters M. Titanium and Titanium Alloys: Fundamentals and Applications. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., 2003. 513 p.
5. Ma Qian, Francis H. Froes. Titanium powders metallurgy. First edition. Butterwoth-Heinemann, USA, 2015.
6. Konyukhov A.L. *Rukovodstvo k ispolzovaniyu programmnoho kompleksa ImageJ dlya obrabotki izobrazheniy: Uchebnoye metodicheskoye posobiye* (Guide to the use of program complex ImageJ for image processing: Training handbook), Tomsk: kafedra TU, TUSUR, 2012, 105 p.
7. Gavrilova N.N, Nazaro V.V., Yarovaya O.V. *Mikroskopicheskiye metody opredeleniye razmerov chastits dispersnykh materialov: uchebnoye posobiye* (Microscopic methods for determining the size of dispersed particles of materials: a training manual), Moskva: RKHTU im. Mendeleyeva, 2012, 52 p.
8. Tang H.P., Qian M. Effect of Powder Reuse Times on Additive Manufacturing of Ti-6Al-4V by Selective Electron Beam Melting. *The Minerals, Metals & Materials Society (TMS)*, 2015, vol. 67, pp. 555 – 563.

Одержано 04.02.17

**З. А. Дурягина, А. Н. Тростячин, И. А. Лемишка,
А. А. Скребцов, О. В. Овчинников**

Гранулометрические характеристики порошка сплава VT20 полученного методом центробежного плазменного распыления электродом

Резюме

Установлено гранулометрические характеристики порошков сплава VT20 различного фракционного состава. Построение кривых Гаусса позволила выявить закономерности изменения полидисперсности частиц порошка в пределах каждой фракции. Показано, что с уменьшением среднего размера частиц порошка в отдельной фракции разброс размеров относительно этого значения других частиц увеличивается. Построено трехмерную диаграмму, в которой представлена взаимосвязимость между фракционным составом частиц порошка, их средним диаметром и степени неоднородности.

Z. Duriagina, A. Trostyanchyn, I. Lemishka, A. Skrebtsov, O. Ovchinnikov

Characteristics of powder particle size of alloy obtained by centrifugal spraying plasma electrode

Summary

Granulometric characteristics of powdered titanium alloy BT20 of different fractional composition were established. Gauss curve helped to identify patterns of polydispersity change of powder within each fraction. It is shown that with decreasing of the average particles size of the powder in a separate fraction the distribution of size over the value of the other particles is increasing. The three-dimensional chart which show relationship between fractional composition of powder particles and their average diameter and degree of heterogeneity was constructed.

Шановні колеги!

**Триває передплата на науково-технічний журнал
«Металознавство та обробка металів» на 2017 р.**

Для регулярного одержання журналу потрібно перерахувати вартість заказаних номерів на розрахунковий рахунок Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України.
Вартість одного номера журналу – 40 грн., передплата на рік – 160 грн.

Ціна архівних номерів 1995 – 2015 рр. – 10 грн.

**Розрахунковий рахунок для передплатників,
спонсорів і рекламодавців:**

банк ДКСУ в м. Києві, р/р 31257293112215, код банку 820172

Отримувач – ФТІМС НАН України, код ЄДРПОУ 05417153,

з посиланням на журнал “ММ”.

Копію документа передплати та відомості про передплатника

**просимо надсилати до редакції,
вказавши номер і дату платіжного документа.**