

Особливості порошків титанових сплавів як товарів подвійного використання

Михайло Кіосе

доктор філософії в галузі «Природничі науки», молодший науковий співробітник відділу фізичних, хімічних та біологічних досліджень, Одеський науково-дослідний інститут судових експертиз Міністерства юстиції України, м. Одеса, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6761-0669>, e-mail: mihail20032015@gmail.com

Ірина Столярова

Завідувач відділу фізичних, хімічних, біологічних досліджень, Одеський науково-дослідний інститут судових експертиз Міністерства юстиції України, м. Одеса, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2255-9719>, e-mail: irina.stoliarov@gmail.com

У тезах розглянуто складнощі експортного контролю за порошками титанових сплавів подвійного використання зумовлені їх технологічними особливостями.

Ключові слова: товари подвійного використання; товари військового призначення; порошок титанового сплаву; вакуумне розпилення; газове розпилення; механічне легування; плазмове розпилення.

Features of Titanium Alloy Powders as Dual-Use Goods

Michael Kiose, Iryna Stoliarova

The abstracts consider the difficulties of export control over dual-use titanium alloy powders due to their technological features.

Keywords: dual-use goods; military goods; titanium alloy powder; vacuum spraying; gas spraying; mechanical alloying; plasma spraying.

Товари подвійного використання відповідно до законодавства України — це окремі види виробів, обладнання, матеріалів, програмного забезпечення, технологій, а також послуги (технічна допомога), які спеціально не призначені для військового використання, але можуть використовуватися не лише у цивільних, а й у військових чи терористичних цілях. Зокрема, вони можуть бути використані для розроблення та виробництва товарів військового призначення, зброї масового знищення, засобів її доставки або ядерних вибухових пристроїв. До таких товарів відносяться також окремі види ядерних матеріалів, хімічних речовин, бактеріологічних, біологічних та токсичних препаратів, перелік яких визначає Кабінет Міністрів України [1, ст. 1]. Характерні властивості та перелік таких товарів наведено в Єдиному списку товарів подвійного використання України.

Експортний контроль за порошками титанових сплавів як товарів подвійного використання є важливою задачею, проте він сильно ускладнюється через такі особливості:

1. Порошки титанових сплавів є сировиною, а не кінцевою продукцією. Напри-

клад, порошок Ti-6Al-4V для медичного 3D-друку (інструментів, імплантів та протезів) і порошок для виготовлення авіаційних деталей, конструкцій елементів ракет, елементів броні танка M1A2 Abrams, бойової машини піхоти M2A2 Bradley, елементів гаубиці M777A1, та інших товарів військового призначення [3, с. 11 — 19]:

- візуально не відрізняються;
 - часто мають однаковий загальний хімічний склад;
 - різниця полягає у розмірі частинок, морфології, вмісті кисню та азоту, які неможливо визначити без використання лабораторного обладнання та спеціальних знань.
2. Завдяки порошковій формі є зручними для обходу експортного контролю:
 - легкість поділу на дрібні партії, що спрощує перевезення;
 - можливість маскування під інші порошкові матеріали дозволяє перевозити їх під виглядом інших матеріалів.



3. Слід також зазначити, що з розвитком 3D-друку металами відпала необхідність у великих виробничих підприємствах (великі заводи, пресове обладнання, печі). Достатньо компактного 3D-принтера, що дозволяє використовувати порошки титанових сплавів локально та приховано для виготовлення деталей та конструкційних елементів військового призначення.

Відповідно до єдиного списку товарів подвійного використання, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України, контролю підлягають:

«1C002.c порошки металевих сплавів або частинки матеріалу, що мають усі такі характеристики: <...>;

1C002.c.1 виготовлені з будь-яких систем, що мають такий склад: <...>;

1C002.c.1.c титанові сплави (Ti-Al-X або Ti-X-Al) "X" означає один або більшу кількість легуючих елементів, що входять до складу сплаву <...>;

1C002.c.2 виготовлені у контрольованому середовищі за допомогою будь-якого з наведених нижче процесів: 1C002.c.2.a — 1C002.c.2.h a) "вакуумне розпилення"; b) "газове розпилення"; c) "відцентрове розпилення"; d) "швидкісне гартування краплі"; e) "спінінгування розплаву" та "здрібнювання"; f) "екстракція розплаву" та "здрібнювання"; g) "механічне легування"; h) "плазмове розпилення"».

Кожен з методів виробництва має свої особливості, які впливають на фізичні та хімічні властивості порошків.

Вакуумне розпилення. Металевий розплав розпилюється у вакуумі, що зменшує реакцію з газами і мінімізує окисдування. Має такі відмінні ознаки:

- низький вміст домішок (O, N, H) у готовому порошку;
- частинки мають сферичну форму;
- менше оксидних включень, ніж під час атмосферного розпилення.

Газове розпилення. Розпилювання розплавленого металу струменем високошвидкісного інертного газу (Ar, He) у камері, де краплі охолоджуються й кристалізуються у сферичні частинки, має такі відмінні ознаки:

- сферичні частинки з гладкою поверхнею;
- вузький фракційний розподіл;
- зазвичай низький вміст домішок. [3, с. 1855 — 1857]

Відцентрове розпилення: металевий стрижень або дріт розплавляється на кінці та обертається з великою швидкістю. Відцентрові сили викидають розплав у вигляді крапель, які, охолоджуючись, утворюють порошок, що має такі відмінні ознаки:

- частинки сферичної або витягнутої форми;
- поверхня частинок без значних дефектів;
- відносно великий розмір частинок (часто більший, ніж при газовому розпиленні);
- низький вміст домішок.

Швидкісне гартування краплі (плазмова атомізація). Метал плавиться й подається в плазмовий потік, де він дробиться на дуже дрібні краплі. Має такі відмінні ознаки:

- часто надзвичайно малі розміри частинок;
- частинки сферичної форми, з гладкою поверхнею.

Екстракція розплаву та здрібнювання — це механічний метод, за використання якого титановий сплав гідрується, стає крихким, механічно подрібнюється, дегідрується, внаслідок чого отримують порошок з такими відмінними ознаками:

- частинки складної форми;
- висока шорсткість поверхні частинок;
- значний розподіл за розмірами;
- зазвичай високий вміст домішок, що пов'язано з механічними процесами.

Механічне легування — це твердофазний процес порошкової металургії, за якого порошки металів та лігатур багаторазово спресовуються, подрібнюються та знову з'єднуються за рахунок інтенсивної механічної дії у спеціальних млинах. Він має такі відмінні ознаки:

- частинки наноструктурні та неоднорідні;
- може бути присутня суміш фаза / тверді розчини;
- частинки не сферичної, часто ламаної форми.

Плазмове розпилення. Металевий дріт або стрижень плавиться в плазмовому струмені і розпилюється на частинки, що мають такі відмінні ознаки:

- частинки сферичної форми з високою текучістю;
- низький вміст домішок завдяки наявності захисної атмосфери;

- варіативний фракційний склад через можливість його регулювання зміною параметрів плазми [4, с. 43 — 47].

Наведені фізичні та хімічні особливості, обумовлені специфікою методів виготовлення порошків титанових сплавів, дають можливість визначити їхню належність до контрольованих товарів подвійного використання.

Перелік джерел посилання

1. Про державний контроль за міжнародними передачами товарів військового призначення та подвійного використання : Закон України від 20.02.2003 р. (зі змін. та допов.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/549-15#Text> (дата звернення: 26.01.2026).
2. Gooch W. Potential Applications of Titanium Alloys in Armor Systems / Conference Paper: Titanium 2011. International Titanium Association. San Diego, California, October 2011. P. 21.
3. Pei Sun, Zhigang Zak Fang, Ying Zhang, Yang Xia. Review of the Methods for Production of Spherical Ti and Ti Alloy Powder/ The Minerals, Metals & Materials Society. 2017. Pp. 1853—1860.
4. Коржик В. М., Строгонов Д. В., Бурлаченко О. М., Войтенко О. М., Куницький Д. В.. Розвиток плазмово-дугових технологій отримання сферичних гранул для адитивного виробництва і гранульної металургії. *Автоматичне зварювання*. 2023. № 11. С. 37—52.