

# Наукові основи технологій отримання та обробки матеріалів

---

УДК 621.762

<https://doi.org/10.15407/materials2022.04-05.106>

## Вивчення процесу обкатування порошку Р6М5К5 у ході обробки на прокатному стані

К. О. Гогасєв, В. А. Назаренко\*, О. К. Радченко

Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України  
Україна, 03142, Київ, вул. Кржижановського, 3

\*E-mail: vanazarenko@gmail.com

*Вивчено фракційний склад і властивості порошку Р6М5К5 залежно від кількості циклів прокатки. Для ефективного використання обробки прокаткою потрібно враховувати властивості порошку і характеристики прокатного стану. В результаті обробки порошку Р6М5К5 в прокатному стані суттєво зменшилась його текучість (на 10%). Це обумовлено тим, що в процесі прокатки в основному відбувалось обкатування порошку.*

**Ключові слова:** порошок сплаву Р6М5К, обкатування, подрібнення, фракційний склад порошку.

### Вступ

В процесі обробки твердого порошку на прокатному стані можуть відбуватися його обкатування і подрібнення. Під процесом обкатування мається на увазі зміна форми порошку і її приближення до сферичної. Способи подрібнення твердого матеріалу і різні комбінації цих способів описані в роботі [1]. За основними способами подрібнення, матеріал руйнується між двома робочими органами, що призводить до забруднення матеріалу.

До механічних методів отримання порошків відносять дроблення та розмелювання. Перетворення вихідного матеріалу на порошок відбувається механічним подрібненням. Подрібнення твердих матеріалів — зменшення початкових розмірів частинок шляхом руйнування їх під впливом зовнішніх зусиль. Розрізняють подрібнення дробленням, розмелом і стиранням або комбінують різні види впливу на матеріал. Перші два використовують для отримання великих частинок, другий та третій — для тонкого подрібнення.

Для грубого подрібнення застосовують щоківі, валкові та конусні дробарки та бігуни, де одержують частинки розміром 1—10 мм, які є

вихідним матеріалом для тонкого подрібнення, що забезпечує виробництво необхідних порошків.

Метою нашої роботи є вивчення процесів обкатування порошку і його подрібнення під час його обробки на прокатному стані з ціллю отримання якісних порошків P6M5K5 для 3D принтера.

### Результати та їх обговорення

З врахуванням наведеного нами запропоновано обробку сплаву на двовалковому прокатному стані ДУО 180 зі швидкістю обертання 10 об/хв. Тільки один з валків був приводним, що дозволило реалізувати комбінацію трьох видів впливу на матеріал — стиск, удар та стирання. В нашій роботі використовували обробку порошку у валках прокатного стану, після якої забруднення було відсутнє і не збільшувалась кількість кисню [2—6]. На рис. 1 представлений модернізований коландровий стан з валками діаметром 180 мм, який застосовували для обробки порошку. Проміжок між валками був нулевий. Кількість проходів подрібнення становила від 5 до 20.

Для використання порошку в 3D принтерах оптимальний фракційний склад порошку повинен становити від 50 мкм (005) до 160 мкм (016).



Рис 1. Модернізований коландровий стан з валками діаметром 180 мм, який використовували для обробки порошку: 1 — мотор; 2 — запобіжна муфта; 3 — механізм перемикання швидкостей (коробка швидкостей); 4 — система шестерен; 5 — натискний механізм (переміщує лівий валок у горизонтальному напрямку); 6 — розбірна станина; 7 — вальці.

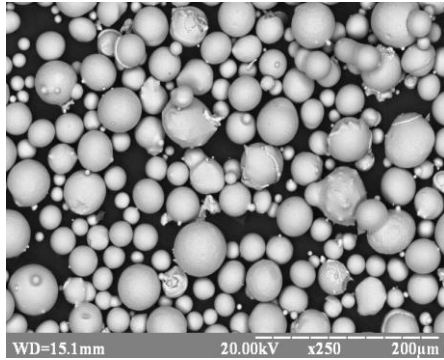


Рис. 2. СЕМ зображення вихідного порошку Р6М5К5.

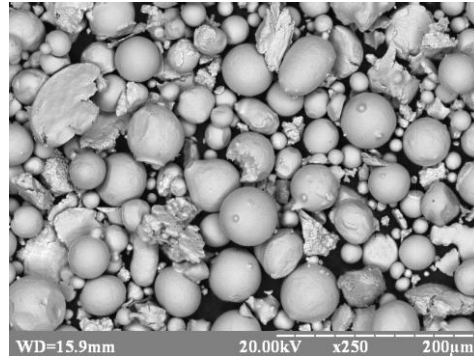


Рис. 3. СЕМ зображення вихідного порошку Р6М5К5 після 20 проходів подрібнення.

Фракційний склад порошку вимірювали після його розсівання на вібраційному ситовому аналізаторі типу РОТАП.

Як вихідний матеріал в нашій роботі використано розпилений порошок Р6М5К5 розміром менше 630 мкм. Для застосування цього порошку в 3D принтері порошок повинен мати його треба далі подрібнювати, щоби він мав розмір менше 160 мкм. Подальший розмел зазвичай проводять на млинах, де порошок забруднюється, з одного боку, матеріалами розмельних тіл та стінками млина (кульові, вібраційні, атриторні, планетарні), а з іншого — киснем (вихрові). В процесі розмелу на прокатному стані доволі швидко проходить шаржування (індентування) порошку в поверхню валків, що приводить до подрібнення сплаву без намелу.

На рис. 2 наведено СЕМ зображення вихідного порошку Р6М5К5. Видно, що у ньому багато частинок мають сателіти, які зменшують сферичність порошку, через що порошок має меншу текучість. На рис. 3 наведено СЕМ зображення порошку Р6М5К5 після 20 проходів подрібнення, під час якого відбувалось обкатування порошку, а самі частинки погано піддались руйнуванню. Причиною цього виявилась недостатня жорсткість прокатного стану ДУО 180 для цього порошку.

**Т а б л и ц я 1. Фракційний склад (%) вихідного порошку Р6М5К5 і після прокаток**

Фракція, мкм	Вихідний порошок	5 прокаток	10 прокаток	20 прокаток
–063	100	100	100	100
–063...+04	16,47	12,55	13,06	9,36
–04...+0315	9,88	9,0	10,21	9,10
–0315...+02	19,92	19,53	22,07	19,86
–02...+016	11,72	11,68	11,59	12,43
–016...+01	8,21	15,49	14,78	14,79
–01...+0063	24,54	16,84	13,37	19,24
–0063...–005	3,16	3,25	2,58	3,33
–005	11,02	11,66	9,42	14,45

**Т а б л и ц я 2. Властивості порошків Р6М5К5**

Порошок	Насипна густина $\rho_n$ , г/см <sup>3</sup>	Густина утрушування $\rho_y$ , г/см <sup>3</sup>	Коефіцієнт Хаузнера $I = \rho_y/\rho_n$	Текучість, с
Вихідний (-063)	4,75	5,19	1,09	22,97
Після 5 проходів	4,84	5,34	1,10	20,82
Після 10 проходів	4,83	5,21	1,08	20,20
Після 20 проходів	4,78	5,30	1,11	20,65

У табл. 1 та 2 наведено фракційний склад і фізичні властивості порошків Р6М5К5. Оскільки процес обробки будь-яких крихких матеріалів залежить від їх початкових властивостей, то обкатування і розмел даного матеріалу на прокатному стану не може бути кількісно однозначним. Аналізуючі дані, можна зробити висновок, що фракційний склад порошку принципово не змінюється, тобто процес розмолу йде дуже повільно. Також слід відмітити суттєву зміну (більше ніж на 2 с) текучості порошку. Це свідчить про те, що пройшов процес обкатування, який сприяв зменшенню кількості сателітів.

### Висновки

Вивчено фракційний склад порошку Р6М5К5 після обробки валках прокатного стану і визначено його текучість.

В результаті обробки порошку Р6М5К5 в прокатному стані суттєво змінилась (на 10%) його текучість. Це зумовлено тим, що в процесі прокатки відбувалось обкатування порошку. Достатньо 5 циклів обробки порошку в прокатному стані для зменшення текучості на 10%. Збільшення циклів обробки до 20 не змінює текучість порошку, але приводить до його незначного подрібнення.

### Список літератури

1. Електронне видання-<https://elearning.sumdu.edu.ua>
2. Васи́лега О.П., Гогаєв К.О., Гречанюк М.І., Затовський В.Г. Технологія отримання порошку сплаву CoCrAlYSi. *Современные проблемы физического материаловедения*. Київ: ИПМ НАН України. 2011. Вып. 20. С. 108—116.
3. Катрус О.А., Радченко А.К., Федоров Д.Н., Бондаренко Б.И., Святенко А.М., Покотило Е.П. Изменение свойств железных порошков при их обкатке в валках. *Порошковая металлургия*. 2005. № 3/4. С. 12—18. <http://www.materials.kiev.ua/article/2944>
4. Радченко О.К., Гетьман О.І. Вплив форми частинок на технологічні властивості газорозпиленних порошків швидкоріжучої сталі. *Порошковая металлургия*. 2006. № 1/2. С. 12—18. <http://www.materials.kiev.ua/article/2989>
5. Кулак Л.Д., Кузьменко Н.Н., Катрус О.А. Измельчение быстрозакалённых порошков. *Порошковая металлургия*. 1989. № 2. С. 13—17. <http://www.materials.kiev.ua/article/2754>

6. Спосіб одержання складнолегованих порошків на основі кобальту. Пат. 99557 України. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винаходи 27.08.2012.

### References

1. Electronic edition <https://elearning.sumdu.edu.ua>
2. Vasilega, O. P., Gogaev, K. A., Grechanyuk, N. I., Zatovskyi, V. G. (2011). Technology of obtaining CoCrAlYSi alloy powder. *Sovremennye problemy fizicheskogo materialovedeniya*, Vyp. 20, pp. 108—116 [in Ukrainian].
3. Katrus, O. A., Radchenko, O. K., Fedorov, D. N., Bondarenko, B. I., Svytenko, A. M., Pokotilo, E. P. (2005). Changes in the properties of iron powders during their rolling in rolls. *Poroshkovaya Metallurgiya*, No. 3/4, pp. 12—18 [in Russian]. <http://www.materials.kiev.ua/article/2944>
4. Radchenko, O. K., Hetman, O. I. (2006). Influence of particle shape on processing characteristics of gas-atomized high-speed steel powders. *Poroshkovaya Metallurgiya*, No. 1/2, pp. 12—18 [in Ukrainian] <http://www.materials.kiev.ua/article/2989>
5. Kulak, L. D., Kuzmenko, N. N., Katrus, O. A. (1989). Grinding of rapid-hardened powders. *Poroshkovaya Metallurgiya*, No. 2, pp. 13—17 [in Russian]. <http://www.materials.kiev.ua/article/2754>
6. Pat. 99557 Ukraina. The method of obtaining complex alloyed powders based on cobalt. Zareyestrovano v Derzhavnomu reyestri patentiv Ukrainy na vynakhody 27.08.2012.

### Study of the rolling process of P6M5K5 powder by processing on a rolling mill

K. O. Gogaev, V. A. Nazarenko\*, O. K. Radchenko

I. M. Frantsevich Institute for Problems of Materials Science of NASU, Kyiv

\*E-mail: [vanazarenko@gmail.com](mailto:vanazarenko@gmail.com)

*Powder processing of the P6M5K5 alloy in rolls of the rolling mill has been performed. There was no contamination, and the oxygen content was not increased during the processing. Processing of the sprayed powder of the P6M5K5 alloy was carried out on a two-roll press DUO 180 with a speed of rotation of 10 rpm. Only one of the rolls was rotating, which made it possible to carry out a combination of three types of impact on the material - compression, impact, and abrasion. The gap between the rolls was zero. The number of processing passes varied from 5 to 20. For the use of powder in 3D printers, the optimal fractional composition of the powder is from 50 μm to 160 μm. The fractional composition of the powder was measured by its dispersion on a vibrating sieve analyzer of the ROTAP type. Since the process of destruction of any brittle material depends on their initial properties, the grinding of this material on a rolling mill cannot be quantitatively unambiguous. In processing the powder, rolling of the powder dominated, and the particles themselves were not easily destroyed. The reason for this turned out to be insufficient rigidity of the DUO 180 rolling mill for this powder. As a result of the processing of the P6M5K5 powder in the rolling state, the fluidity of the powder significantly decreased by more than 2 seconds from 22 s to 20s, which is 10%. This is evidence that a rolling process took place, which led to a decrease in the number of satellites. Five cycles of processing the powder in the rolling mill were enough to reduce the fluidity by 10%. Increasing the number of processing cycles to 20 did not change the fluidity of the powder, but led to its slight grinding.*

**Keywords:** P6M5K alloy powder, rolling, grinding, fractional composition of the powder.