

**УДК 621.9.02:546.26:620.22**

**Олександр Лисенко, к.т.н, доц.; Іван Валявський, к.т.н, доц.; Михайло Короленко**  
Центральноукраїнський національний технічний університет, Україна

### **ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГЕКСАГОНАЛЬНОГО АЛМАЗУ (ЛОНСДЕЙЛІТУ) В ІНСТРУМЕНТАЛЬНОМУ ВИРОБНИТВІ**

Анотація. Розглянуто перспективи використання гексагонального алмазу (лонсдейліту) у якості потенційного надтвердого матеріалу для інструментального виробництва. Проаналізовано його структурні особливості, фізико-механічні переваги порівняно з традиційним кубічним алмазом та можливі напрями застосування у створенні зносостійкого різального, абразивного й мікроінструменту.

Ключові слова: лонсдейліт, гексагональний алмаз, інструментальне виробництво, надтверді матеріали.

**Oleksandr Lysenko, Ivan Valiavskiy, Mykhailo Korolenko**

### **PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF HEXAGONAL DIAMOND (LONSDALEITE) IN TOOL MANUFACTURING**

Abstract. The prospects for the use of hexagonal diamond (lonsdaleite) as a potential superhard material for tool manufacturing are considered. Its structural features, physical and mechanical advantages compared with conventional cubic diamond, and possible areas of application in the development of wear-resistant cutting, abrasive, and micro-tools are analyzed.

Keywords: lonsdaleite, hexagonal diamond, tool manufacturing, superhard materials

Сучасне інструментальне виробництво орієнтоване на створення матеріалів, здатних працювати в умовах підвищених контактних навантажень, високих температур, інтенсивного тертя та абразивного зношування [1]. Особливо актуальним це є для виготовлення різального, абразивного, шліфувального, правлячого та мікроінструменту, який застосовується під час обробки важкооброблюваних матеріалів, композиційних структур, кераміки, надтвердих сплавів і матеріалів аерокосмічного призначення [2]. У цьому контексті значний науковий інтерес викликає гексагональний алмаз – лонсдейліт, який є поліморфною модифікацією вуглецю з  $sp^3$ -зв'язками, але, на відміну від звичайного кубічного алмазу, має гексагональну кристалічну структуру [3].

Лонсдейліт тривалий час розглядався переважно як мінерал метеоритного походження, що формується за умов надвисокого тиску й температури під час ударних процесів. Тривалий час навіть тривала дискусія щодо того, чи є лонсдейліт самостійною фазою, чи його експериментальні прояви можуть пояснюватися дефектним або двійникованим кубічним алмазом. Проте останні дослідження суттєво активізували інтерес до нього як до потенційного інструментального матеріалу. Зокрема, у 2026 році китайськими дослідниками повідомлено про синтез міліметрових зразків фазово чистого гексагонального алмазу з високоорієнтованого піролітичного графіту за умов високого тиску та температури; автори зазначають, що такий матеріал демонструє вищу твердість порівняно з кубічним алмазом і високу термічну стабільність [4]. Водночас необхідно зазначити, що практичне використання лонсдейліту все ще перебуває на початковій стадії через складність синтезу, обмежені розміри отриманих зразків і потребу в додатковому вивченні його механізмів деформації та руйнування [5].

Актуальним завданням є аналіз перспективи використання гексагонального алмазу (лонсдейліту) в інструментальному виробництві та визначити основні напрями

його потенційного застосування у створенні надтвердих, зносостійких і термостабільних інструментальних матеріалів.

Лонсдейліт належить до надтвердих вуглецевих матеріалів, у яких атоми вуглецю поєднані міцними ковалентними  $sp^3$ -зв'язками. Його принципова відмінність від традиційного алмазу полягає у типі просторового укладання атомних шарів (рис. 1). Кубічний алмаз має кубічну ґратку, тоді як лонсдейліт характеризується гексагональним типом кристалічної структури. Саме ця особливість зумовлює інтерес до нього як до матеріалу з потенційно підвищеною твердістю, жорсткістю і термічною стабільністю.

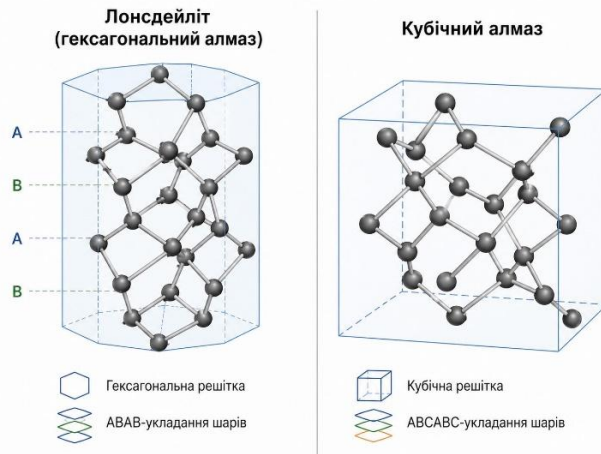


Рисунок 1 – Порівняння кристалічної будови лонсдейліту та кубічного алмазу

Як видно з рис. 1, відмінність між лонсдейлітом і традиційним алмазом полягає не в типі хімічного зв'язку, оскільки в обох випадках атоми вуглецю утворюють міцну  $sp^3$ -гібридизовану тетраедричну сітку, а саме в характері просторового укладання атомних шарів. Для лонсдейліту характерне гексагональне АВАВ-укладання, тоді як для кубічного алмазу – кубічне АВСАВС-укладання. Саме ця структурна відмінність може впливати на анізотропію механічних властивостей, твердість і поведінку матеріалу під дією контактних навантажень.

Для інструментального виробництва особливе значення мають такі властивості лонсдейліту, як висока твердість, стійкість до пластичної деформації, здатність протидіяти абразивному зношуванню та потенційно підвищена теплостійкість. За даними проведених досліджень, об'ємний гексагональний алмаз може демонструвати твердість за Віккерсом до 155 ГПа за осьового навантаження 9,8 Н, що перевищує значення для кубічного алмазу біля 110 ГПа в окремому кристалографічному напрямі [5]. Це відкриває перспективи використання лонсдейліту у виготовленні інструментів для високоточної, мікро- та нанорозмірної обробки, де вирішальними є стабільність геометрії різальної кромки, мінімізація зношування та здатність зберігати працездатність за екстремальних умов тертя.

Одним із перспективних напрямів є застосування лонсдейліту в алмазних різальних пластинах, мікрорізцях, інструментах для надточного точіння, свердлах малого діаметра, правлячих роликах і абразивних зернах для шліфувальних кругів. Завдяки високій твердості та очікуваній зносостійкості такий матеріал може бути корисним під час обробки кераміки, скла, кремнію, сапфіру, карбідів, композиційних матеріалів і твердих неметалевих структур. Особливо перспективним є його використання в тих випадках, де звичайний алмазний інструмент зазнає інтенсивного мікросколювання або втрати гостроти різальної кромки.

Важливим напрямом може стати створення композиційних інструментальних матеріалів, у яких лонсдейліт використовуватиметься не як монолітний матеріал, а як зміцнювальна фаза або надтвердий компонент у матриці. Такий підхід є більш реалістичним на початковому етапі впровадження, оскільки отримання великих монокристалічних або полікристалічних заготовок лонсдейліту залишається складним технологічним завданням. Перспективними можуть бути композити типу «лонсдейліт – кубічний алмаз», «лонсдейліт – кубічний нітрид бору», а також наноструктуровані алмазні матеріали з контрольованим співвідношенням кубічної та гексагональної фаз.

На зараз промислове застосування лонсдейліту стримується низкою чинників. Насамперед це складність його стабільного синтезу, необхідність використання високого тиску й температури, обмеженість розмірів отриманих зразків, а також проблема достовірної ідентифікації гексагональної фази.

Для інструментального виробництва важливим завданням є не лише отримання лонсдейліту, а й оцінювання його технологічної придатності: здатності до спікання, формування стабільної різальної кромки, сумісності з металевими або керамічними зв'язками, поведінки під час ударних і термоциклічних навантажень, а також стійкості до хімічної взаємодії з оброблюваними матеріалами. Наприклад, як і традиційний алмаз, лонсдейліт потенційно може мати обмеження під час обробки залізовмісних сплавів через хімічну спорідненість вуглецю до заліза за підвищених температур. Тому найбільш реалістичними сферами його застосування на першому етапі можна вважати обробку неметалевих, керамічних, напівпровідникових і композиційних матеріалів.

Гексагональний алмаз (лонсдейліт) є одним із найперспективніших надтвердих матеріалів для майбутнього розвитку інструментального виробництва. Його потенційні переваги пов'язані з високою твердістю, жорсткістю, термічною стабільністю та здатністю працювати в умовах інтенсивного абразивного зношування. Найбільш доцільними напрямками використання лонсдейліту є виготовлення абразивних зерен, мікроінструменту, інструментів для надточної обробки, правлячих елементів і композиційних надтвердих матеріалів. Водночас його широке промислове впровадження потребує подальшого розвитку технологій синтезу, збільшення розмірів якісних зразків, дослідження механізмів зношування та перевірки працездатності в реальних умовах різання, шліфування і мікрообробки.

## Перелік посилань

1. Ігнат'єв, Е. С. Основні тенденції розвитку сучасного ріжучого інструменту / Е. С. Ігнат'єв, О. В. Лисенко // Наукові записки : зб. наук. пр. - Кіровоград : КНТУ, 2011. - Вип. 11, ч. 1. - С. 221-225. – Режим доступу: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/4836>.
2. Лисенко, О. Забезпечення високих різальних властивостей інструментального оснащення високошвидкісних обробних центрів / О. Лисенко // Збірник тез доповідей викладачів, аспірантів та співробітників LVI науково-технічної конференції «Наука в ЦНТУ: основні досягнення та перспективи розвитку» за підсумками проведення «Дня науки – 2025» 24-25 квітня 2025 року. Кропивницький: ЦНТУ, 2025. - С. 75-76.
3. Лонсдейліт (Лонсдейліт) / В. С. Білецький, В. І. Павлишин // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. – К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2016. – Режим доступу: <https://esu.com.ua/article-56395>.
4. Lai S., Yang X., Shi J., Liu S., Guo Y., Yan L., Zang J., Zhang Z., Jia Q., Sun J., Cheng S., Shan C. Bulk hexagonal diamond // Nature. - 2026. - Vol. 651. - P. 621-625. - DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-026-10212-4>.
5. Tao Y., Bu Y., Wang H. Mechanical properties of hexagonal diamond: A first-principles study // Extreme Mechanics Letters. - 2026. - Vol. 83. - Article 102454. - DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eml.2026.102454>.