

Ю.М. Кузнецов, д.т.н.  
Національний технічний університет України "КПІ"

В.В. Гумінов, аспір.  
Тернопільський державний технічний університет ім. Івана Пулюя

**АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОБРОБКИ КРИСТАЛІВ ПРИРОДНИХ АЛМАЗІВ  
ТА МІНЕРАЛІВ**

Подано аналіз методів обдирання кристалів мінералів різної структури. Запропоновано схематичний варіант класифікації методів та сформовано морфологічну матрицю аналізу методів обдирання. Визначено та представлено взаємозв'язок критеріїв аналізу, які безпосередньо впливають на вибір методу, і проведено якісно-кількісну оцінку методів обдирання для вибору оптимального варіанта.

Найбільш відповідальною операцією в технологічному процесі виготовлення діамантів є операція обдирання (обробка кристала алмаза для отримання рундиста). При виконанні цієї операції кристалу надають певної геометричної форми і формують відповідну якість поверхні. Отримання якісних та геометричних параметрів поверхні забезпечується вибором того чи іншого методу обробки і, відповідно, забезпеченням певних формоутворюючих рухів. Обдирання алмаза – це трудомісткий довготривалий процес.

На основі аналізу відомих методів обдирання кристалів природних мінералів [1, 2] сформовано розгорнуту класифікаційну схему (рис. 1) методів виконання технологічної операції обдирання.

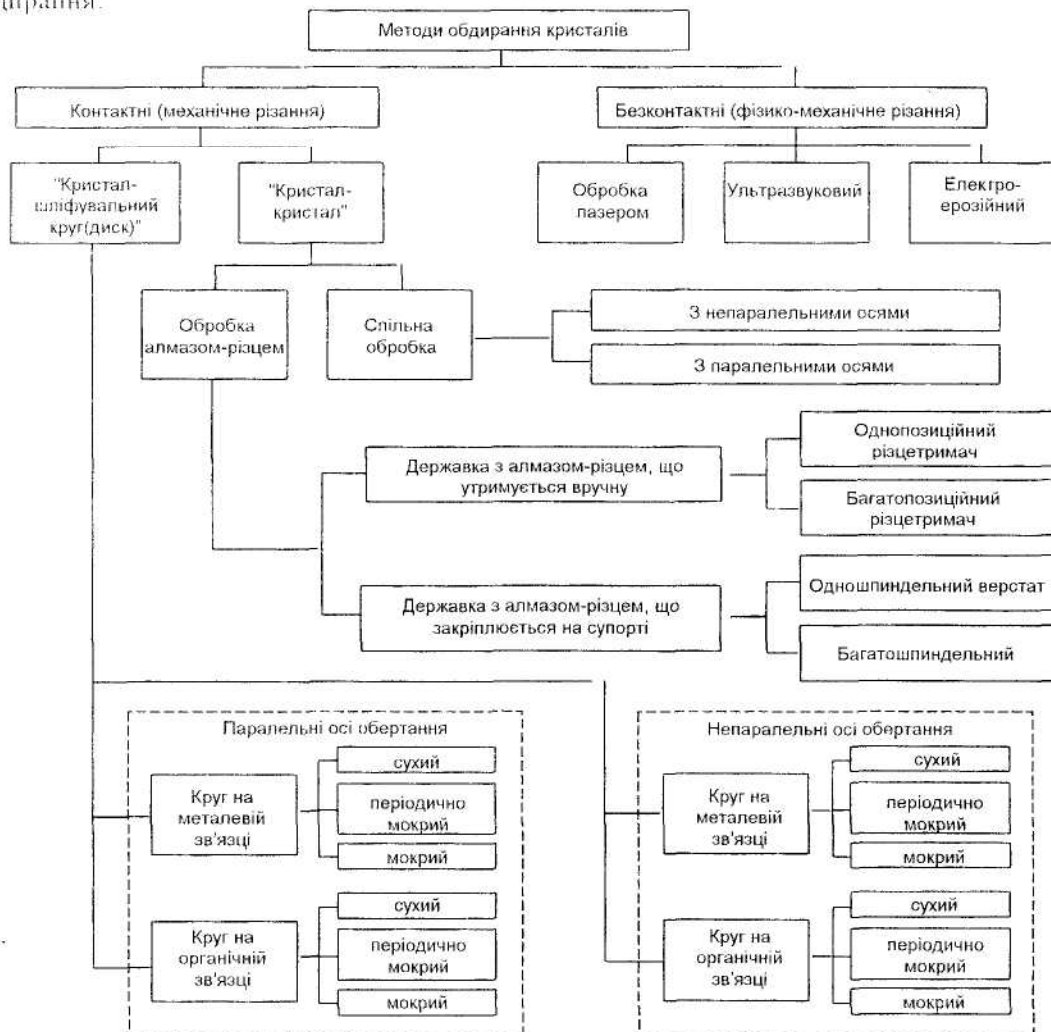


Рис. 1. Класифікація методів обдирання (обточування)

На основі класифікаційної схеми методів обробки та з використанням методу морфологічного аналізу [3, 4] сформовано морфологічну матрицю методів обробки (табл. 1).

Таблиця 1

Морфологічна матриця методів обробки

Заготівка	Взаємодія – Робочий процес						Інструмент			
	Рух	Фізико-хімічний ефект	Вид енергії ефекту	Характер підводу і розподілу енергії	Характер дії енергії	Фізич, стан робоч, середовища	Дія стану робоч, середовища	Фізичний стан	Рух	Відношення осей інструмента та заготовки
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,1 Поступальний	2,1 Дифузія	3,1 Теплова	4,1 Точковий	5,1 Ненервний	6,1 Рідкий	7,1 Постійна	8,1 Рідкий	9,1 Поступальний	10,1 Паралельні	11,1 Металева
1,2 Обертовий	2,2 Ерозія	3,2 Механічна	4,2 Лінійний	5,2 Перервний	6,2 Газоподібний	7,2 Періодична	8,2 Газоподібний	9,2 Обертовий	10,2 Перпендикулярні	11,2 Органічна
1,3 Комбінований	2,3 Анодне розчинення	3,3 Пружина	4,3 Поверхневий		6,3 Твердий		8,3 Твердий	9,3 Комбінований	10,3 Перетинаються під прямим кутом	11,3 Неорганічна
1,4 Нерухомий	2,4 Гідрудар	3,4 Електрична	4,4 Об'ємний		6,4 В'язкий (текучий)		8,4 В'язкий (текучий)	9,4 Нерухомий	10,4 Перетинаються під не-прямим кутом	11,4 Керамічна
	2,5 Комбінований	3,5 Магнітна	4,5 Комбінований		6,5 Під високим тиском		8,5 Комбінований		10,5 Не перетинаються	11,5 Дерев'яна
		3,6 Оптична			6,6 Вакуум				10,6 Співвісні	11,6 Комбінована
		3,7 Комбінована			6,7 Комбінований					

Вивчаючи альтернативні ознаки морфологічної матриці, проведемо аналіз відомих методів обдирання, які утворені сполученням цих ознак, з позначенням формують формуючих рухів ( $\Phi_V$  – головний рух різання,  $\Phi_S$  – рух подачі,  $\Phi(O)$  – обертовий,  $\Phi(P)$  – поступальний):

Аналізуючи контактні методи, до яких належать “кристал–кристал” і “кристал–підфугальний круг(диск)” (рис. 1), опишемо схеми обробки за морфологічною матрицею.

Метод “кристал–кристал” можна отримати шляхом сполучення таких ознак:

– спосіб 1: 1,3–2,1–3,2–4,1–5,1–6,1–7,1–8,3–9,2–10,1–11,3 (рис. 2) – паралельні осі обертання.

– спосіб 2: 1,3–2,1–3,2–4,1–5,1–6,1–7,1–8,3–9,2–10,3–11,3 (рис. 3) – осі обертання кристалів перетинаються під прямим кутом.

Перевага способу 2 в тому, що величина максимального контактного тиску в процесі обробки в 3,1 рази вища порівняно з способом 1 (встановлено раніше проведеними дослідями), відповідно, можна досягнути більшої продуктивності обдирання;

– спосіб 3: 1,2–2,1–3,2–4,1–5,2–6,6–7,1–8,3–9,1–10,2–11,3 (рис. 4) – звичайне точіння.

Метод обдирання “кристал–кристал”, що описаний способами 1 і 2 полягає в одночасній взаємній обробці двох кристалів, один з яких є заготовка–виріб, а інший – інструмент.

Кристал, що є інструментом, в подальшому після декількох інструментальних циклів теж стає виробом за умови додаткової обробки. Особливість способу 3 полягає в тому, що для обдирання заготовки застосовується різець – кристал без надання йому обертового руху, причому заготовка з двох сторін фіксується в оправках, яким надається однаковий обертовий рух. Перевага способу 3, порівняно зі способами 1 і 2, полягає в швидкій зміні заготовки, тому що операцію приклеювання замінено механічним закріпленням [1].

Метод обробки “кристал-шліфувальний круг (диск)” отримують шляхом сполучення таких ознак:

- спосіб 1: 1,2-2,1-3,7-4,2-5,1-6,1-7,1-8,3-9,3-10,1-11,1 (рис. 5) – осі обертання паралельні;
- спосіб 2: 1,2-2,1-3,7-4,2-5,1-6,1-7,1-8,3-9,3-10,2-11,2 (рис. 6) – осі обертання перетинаються під прямим кутом.

При цьому методі обробки обдирання здійснюється при взаємодії заготовки зі шліфувальним кругом або диском, який шаржований алмазним порошком. Паралельне розташування осей обертання, як показала практика, дозволяє використовувати шліфувальні круги на органічній або металевій зв'язувальних основах, тому що є можливість неперервного очищення круга при використанні процесу електролізу. Це призводить до автоматичного оновлення ріжучих кромки і, відповідно, збільшує продуктивність та покращує якість обробленої поверхні. При перпендикулярному розташуванні осей обертання доцільно проводити обробку шліфувальними кругами на органічній зв'язувальній основі, а очищення круга виконувати електролізом періодично. Це дозволить використати систему оптичного контролю за діаметром рундиста і, відповідно, автоматизувати процес обробки рундиста. Можна прогнозувати (за аналогією до схеми на рис. 3) зменшення зусиль різання.

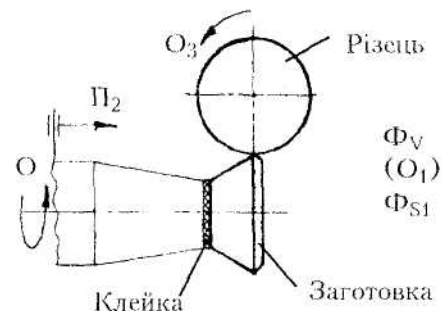
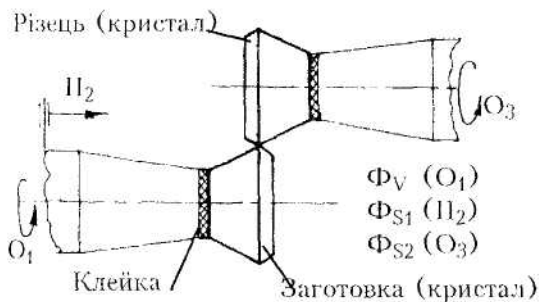


Рис. 2. Спільна обробка (паралельні осі обертання) Рис. 3. Спільна обробка (осі обертання перетинаються під прямим кутом)

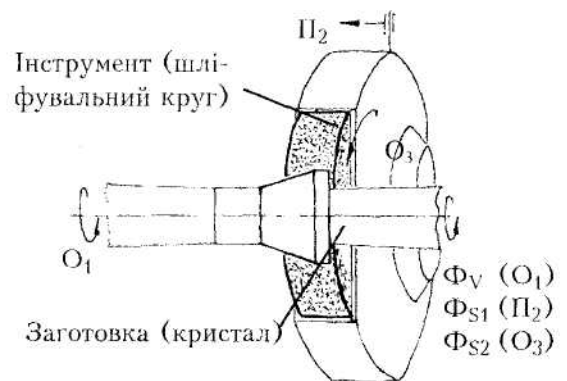
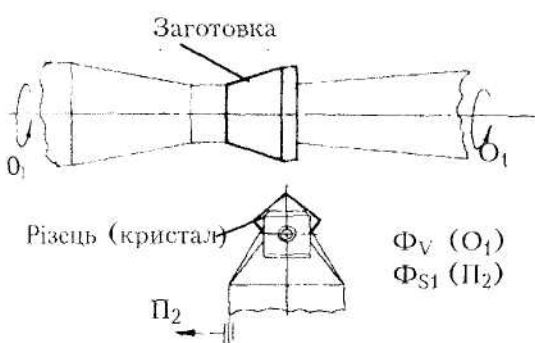


Рис. 4. Звичайне точіння

Рис. 5. Обробка диском (паралельні осі обертання)

До безконтактних (фізико-механічне різання) методів належать паступні: електроерозійний, ультразвуковий, обробка лазером.

Реалізувати “електроерозійний” метод (рис. 7) можна шляхом сполучення ознак: 1,4-2,2-3,4-4,1-5,1-6,1-7,1-8,3-9,3-10,1-11,1 морфологічної матриці. До кристала алмаза, який знаходиться в електроліті (1,5 % розчин  $KNO_3$ ) підводиться загострений наконечник, що

обертається (це покращує точність форми отвору, знижує шорсткість поверхні), і між ними створюється електричний розряд і проходить обробка по контуру рундиста. Найбільшим недоліком є незадовільний результат обробленої поверхні рундиста кристала алмаза (низька якість поверхні та точність геометричної форми).

“Ультразвуковий” метод обробки (рис. 8) забезпечується сполученням ознак: 1,4-2,1-3.3-4,2-5,1-6,8-7,1-8,3-9,1-10,1-11,1 морфологічної матриці. Обробку виконують за допомогою порожнього сталюого циліндра, який отримує коливання від концентратора ультразвукової установки, а на алмаз подається абразивна суспензія на основі порошку (АМ-20, АМ-28, ...). Найбільшими недоліками є низька якість обробленої поверхні та точність її геометричної форми, неможливість використання системи оптичного контролю.

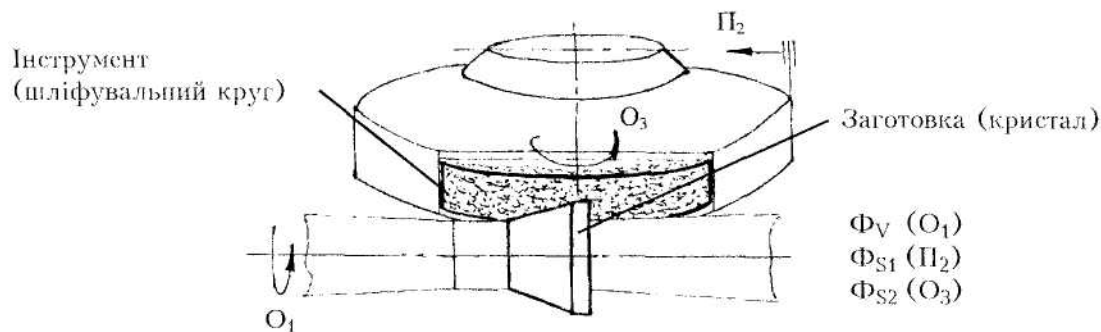


Рис. 6. Обробка диском (осі обертання перетинаються під прямим кутом)

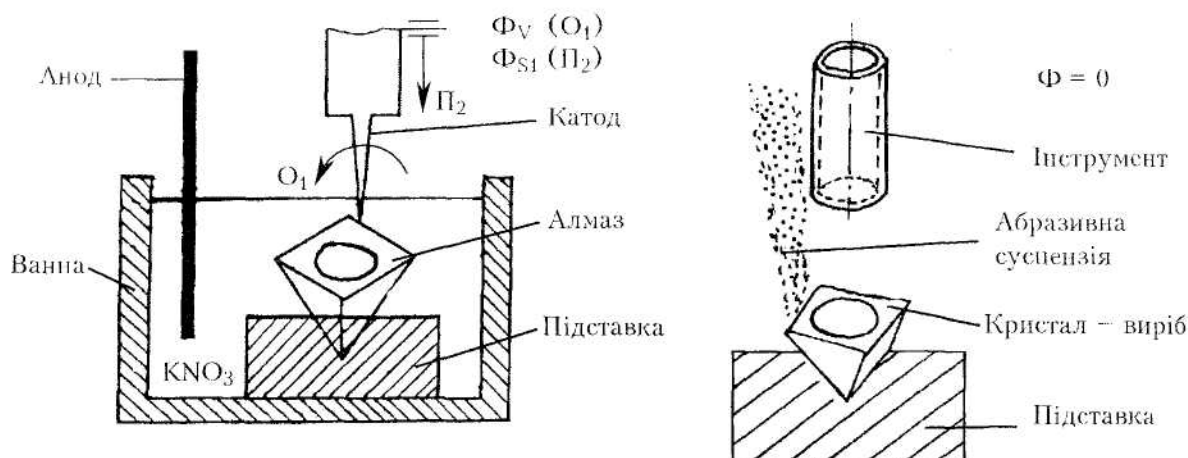


Рис. 7. Електроерозійна обробка

Рис. 8. Ультразвукова обробка

Метод обробки лазером (електронним променем) одержують шляхом сполучення таких альтернативних ознак (спосіб 1): 1,4-2,1-3,6-4,2-5,1-6,6-7,1-8,2-9,4-10,5-11,3 (рис. 9). Закріплений кристал алмаза знаходиться на осі симетрії з фокусуєчим блоком, а промінь лазера (у формі кільця) відпалює виступаючі вершини кристала і формує потрібну форму поверхні. На основі матриці розроблено перспективний спосіб обробки (спосіб 2), який описаний такими ознаками морфологічної матриці: 1,2-2,1-3,6-4,1-5,1-6,6-7,1-8,2-9,1-10,4-11,3. Закріплений кристал алмаза обертається навколо своєї осі, а промінь лазера, проекцією якого є точка, відпалює виступаючі вершини кристала і цим формується потрібна форма поверхні. На нашу думку, такий варіант є більш економічним за рахунок зменшення потужності випромінювача (порівняно з попереднім варіантом), краща можливість застосування системи оптичного контролю за процесом.

Порівняно з іншими методами обробки (кристал-кристал, електроерозійний, ультразвуковий) обдирання кристала лазером має ряд переваг, а саме: точність геометричної форми отриманої поверхні, висока продуктивність обдирання; безінерційність оброблюючого інструмента. Серед недоліків слід відзначити: затрати допоміжного часу на налагодження

фокусуючої системи на робочий режим (висока вартість системи автоматичного фокусування випромінювання), складність стабілізації параметрів випромінювання, графітизація поверхневого шару і, відповідно, необхідність механічної обробки на завершальному етапі операції.

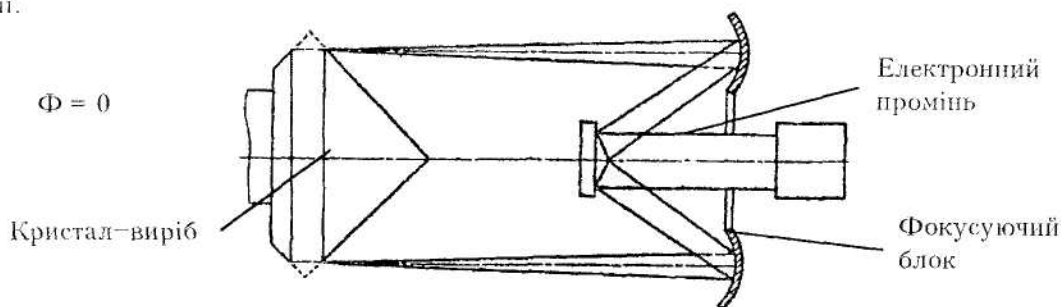


Рис. 9. Метод обробки електронним променем (лазером)

Для проведення суб'єктивного аналізу методів обточування вибрано такі критерії: вихід придатного продукту, якість, контрольованість процесу обдирання, продуктивність формоутворення, загальна продуктивність, вартість.

На рис. 10 показано одну із схем багатоваріантної структури взаємозв'язку обраних критеріїв. На основі даних про режими обробки [ 2, 5, 6, 7 ] проведено оцінку застосування методів обдирання за переліченими критеріями (оцінку проведемо за 5-ти бальною шкалою, де: "1" – дуже погано, ... , "5" – дуже добре; для критерію вартості оснащення додається знак " – ", тобто " -1 " – дуже добре, ... , " -5 " – дуже погано). Результати оцінки зведено в табл. 2 (загальний показник – це середнє арифметичне значення оцінки).

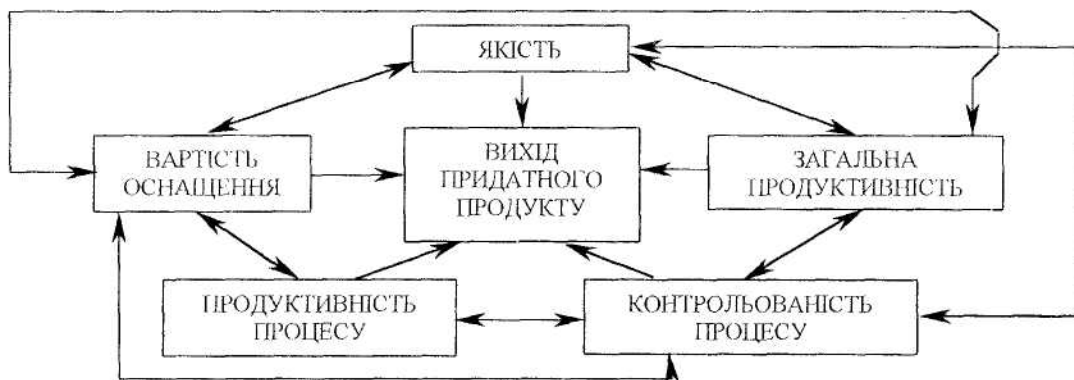


Рис. 10. Взаємозв'язок критеріїв

Таблиця 2

Аналіз методів обточування

КРИТЕРІЙ АНАЛІЗУ		БЕЗКОНТАКТНІ			КОНТАКТНІ		
		Ультразвук	Електроерозія	Лазер	Спільна обробка	Звичайне точіння	Обробка кругом
Якість	1. Шорсткість	1	1	-	3	4	5
	2. Точність форми	2	1	5	4	4	5
	3. Точність розміру	1	1	5	4	4	5
4. Продуктивність		1	1	5	4	4	5
5. Загальна продуктивність		1	2	5	3	3	5
6. Вартість оснастки		- 3	- 3	- 5	- 1	- 1	- 3
7. Вихід придатного (норма)		1	1	5	3	4	5
8. Контрольованість процесу		3	3	5	4	5	5
Загальний показник		0,875	0,875	3,125	3	3,5	4

Використання безконтактних методів не знайшло широкого впровадження через неможливість забезпечення необхідних параметрів процесу якісної обробки, трудомісткість та



високу вартість оснащення. Метод обробки електронним променем (лазером) доцільно використовувати на початкових (чорнових) етапах обробки алмазів [7] з метою зменшення ймовірності руйнування кристалу на першому переході (збивання кутів) операції обдирання. Чистове обдирання проводити шліфувальним кругом (дискон). Такий комбінований варіант призводить до збільшення коефіцієнта використання алмазної сировини (за рахунок збереження цілісності кристалу) та збільшення вартості готового продукту і забезпечує високі якісні характеристики обробленої поверхні рундиста. Єдиний великий недолік, на нашу думку, – це висока вартість шліфувальних кругів та випромінювачів для створення лазерного (електронного) променя.

У виробництві найбільшого використання набули контактні методи обдирання, а саме:

– обточування алмазом-різцем, закріпленим в різце- (алмазо-) тримачі, який утримується вручну;

– обробка шліфувальним кругом (дискон), який обертається.

Вони забезпечують як проходження процесу обдирання під контролем, так і отримання необхідних параметрів якості обточеної поверхні при невисокій вартості оснащення.

Проведення аналізу, на основі морфологічної матриці та якісно-кількісної оцінки методів обробки на операції обдирання кристалу полегшує вибір раціонального варіанта обробки і дозволяє максимально ефективно поєднати переваги відомих методів.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Епифанов В.И., Песина А.Я., Зыков Д.В. Технология обработки алмазов в бриллианты: Учебник для средних проф.-техн. училищ. – М.: Высшая школа, 1976. – 320 с.
2. Применение лазеров в машиностроении: Монография / В.С. Коваленко, В.П. Котляров, В.П. Дятел. – К.: Выща школа, 1988. – 162 с.
3. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества: Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
4. Кузнецов Ю.Н. Методы создания новых технических систем. – К.: ГНОЗИС, 1998. – 80 с.
5. Коваленко В.С. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. – К.: Выща школа, 1975. – 236 с.
6. Попилов Д.Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов: Справочник – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – 400 с.
7. Прогрессивные методы лазерной обработки материалов / В.С. Коваленко – К.: Выща школа, 1985. – 88 с.

КУЗНЕЦОВ Юрій Миколайович – доктор технічних наук, професор Національного технічного університету України “КНУ”.

Наукові інтереси:

– металообробне обладнання та інструменти.

ГУМІНОВ Валентин Валерійович – аспірант Тернопільського державного технічного університету ім. Івана Пулюя.

Наукові інтереси:

– обладнання для обробки мінералів.

Тел.: (0352) 22-49-60.

Подано 10.01.2003