

ence of the acoustic signal amplitude of the grinding zone on technological parameters of the process is shown. It confirms the previously established relationships between the acoustic signal characteristics of mill working areas and the technological grinding parameters. It is necessary to clarify the possibility of a quality control system developing for grinding products based on a characteristic analysis of the recorded process acoustic monitoring signals.

**Scientific novelty.** The regression dependences of each accepted factor influence on the jet mill productivity and on the signal characteristics of the acoustic monitoring adequately describe the grinding process and can be used for increasing its efficiency.

**Practical significance.** The research results are the basis for the automatic control system development of a jet grinding plant operation.

**Key words:** *jet grinding, productivity, factor, acoustic signal, amplitude, regression analysis, influence*

УДК 621.787: 621.7.044.2: 669.018.25

© Ю.В. Савченко

## ПРОГРЕСИВНИЙ БУРОВИЙ ІНСТРУМЕНТ З ВИСОКИМ РЕСУРСОМ ТА ВЛАСТИВОСТЯМИ

© Iu. Savchenko

## PROGRESSIVE A DRILLING TOOL WITH HIGH OF RESOURCES AND PROPERTIES

**Мета.** Розробити промислову високоефективну технологію виробництва ріжучого, руйнуючого і формоутворювального інструменту використовуючи аналіз технологій регенерації металокерамічних сплавів і вибрати найбільш “екологічно чисту” і рентабельну технологію переробки відходів твердих сплавів.

**Методика.** В якості методики дослідження для представленої роботи були розглянуто аналіз існуючих кілька методів регенерації відходів вольфрамом кобальтових твердих сплавів: піро– та гідрометалургійний, хімічний (хлорний, цинковий), термохімічний і з застосуванням енергії вибуху бризантних вибухових речовин.

**Результати.** Виготовлені та випробуванні різці ЗР4-80 виконавських шнекових органів вугільного комбайна типу 1К101У та різці РКС-1С які були встановлені для випробувань на шахті "Павлоградська" на комбайн ГПКС-1.

**Наукова новизна.** Показана принципова можливість використання ударно–хвильової обробки, як фактор, що стимулює процеси руйнування порошкових виробів будь–якої конфігурації, з метою отримання високоякісного порошку для подальшої формування, спікання і виробництва інструменту різного призначення, запропоновано екологічно чиста технологія переробки надтвердих матеріалів, металокерамічних складових застарілої військової техніки і різних видів боєприпасів.

**Практична значимість.** Промислове освоєння розробленої технології дозволяє вирішити проблеми:

- утилізацію лому надтвердих матеріалів і сплавів з їх подальшим відновленням і відповідно значною економією стратегічної сировини;
- використання нової технології з виключенням вживання малоефективних способів переробки дефіцитної сировини і випуск продукції світового рівня якості;
- поступова відмова від імпорту у бік твердосплавного металокерамічного інструменту;
- зменшення, а потім і відмова від експорту за межі України лому стратегічних матеріалів і сплавів, з переходом до експорту готових виробів–порошків і інструменту, що значно збільшить валютні надходження в країну.

**Ключові слова:** *вольфрам, кобальт, інструмент, твердий сплав, металокераміка, переробка відходів, гетерогенна середовище, дефектоутворення*

**Визначення наукової проблеми і її значення.** Видобуток корисних копалин і відходи, що утворюються при цьому, є одним з головних джерел забруднення навколишнього середовища. Промислові і побутові відходи металів, особливо важких і рідкісних, у вигляді розчинних солей, потрапляючи у водні басейни (річки, озера, водоносні шари землі), представляють серйозну загрозу здоров'ю людства, тваринному і рослинному світу. Тому одним з важливих шляхів скорочення здобичі руд є утилізація і переробка відходів - вторинної сировини в промисловості.

Найкрупніше джерело вторинного вольфраму - твердосплавне виробництво, на частку якого доводиться більше половини споживаного вольфраму.

Вольфрам, кобальт і нікель, основні компоненти для виробництва твердих сплавів - гостродефіцитні метали. В умовах України відходи твердих сплавів можуть майже на 50 % заповнити потребу в сировині для виробництва твердих сплавів. У зв'язку із значно збільшеною необхідністю використання вторинної вольфрамової сировини створення ефективної технології його переробки придбаває виняткову важливість. Існуючі способи переробки відходів твердих сплавів включають десятки технологічних операцій. Не дивлячись на постійне вдосконалення технології і устаткування, кожна операція супроводжується неминучими витратами сировини, матеріалів і порівняльними великими втратами і викидами продуктів і реагентів. Частина їх потрапляє в оточуюче середовище. Тому при виборі технології переробки відходів необхідно враховувати їх походження, ступінь чистоти і однорідності.

Існує декілька методів регенерації відходів вольфрам кобальтових твердих сплавів: піро- і гідрометалургійний, хімічний (хлорний, цинковий), термохімічний і із застосуванням енергії вибуху бризантних вибухових речовин. Перші два способи складні, багатостадійні і трудомісткі, припускають наявність устаткування, стійкого в агресивних середовищах, а також великої витрати електроенергії. Кінцевими продуктами при цих способах є складні з'єднання вольфраму, що вимагають додаткової переробки. Крім того, всі вони пов'язані з шкідливими умовами праці, погіршенням екологічної обстановки.

Гідрометалургійна технологія включає сплав відходів з селітрою з подальшим вилуговуванням сплаву в слабких розчинах вольфрамату натрію. І далі

всі операції проводять так само як при переробці вольфрамкових концентратів. Вказана технологія дозволяє одержувати вольфраманий ангідрид і окисел кобальту високої чистоти. Цей спосіб незамінний при переробці відходів, неоднорідних по складу і забруднених іншими домішками (відпаяні пластини, різні марки сплавів і т.п.).

Окислювально-відновний спосіб цікавий тим, що тут використовується те ж саме устаткування, що і для виробництва твердих сплавів. Метод полягає в тому, що кускові відходи (ретельно обчищені, групи ВК) окисляють, розмелюють, відновлюють, одержуючи суміш вольфраму і кобальту. Одержану суміш металів карбидізують і далі переробляють за типовою технологією виробництва твердих сплавів.

Термохімічний спосіб, що полягає в окисленні відходів з подальшим відновленням і карбидизацією окислених продуктів, має декілька варіантів, які можна умовно розділити на дві групи: традиційні технології, в яких для карбидизації використовується сажа і, так звані "безсажні" технології, що передбачають проведення карбидизації в метан водневого газового середовищі.

В обох випадках окислений продукт відновлюється у водні, а потім відновлені порошки або шихтують з сажею і карбидизують у водні, або безпосередньо вуглецюють метан водневою сумішшю.

Проте склади цієї суміші, що застосовуються, не забезпечують стабільності одержуваних твердосплавних сумішей за змістом вуглецю. Тому для регулювання складу одержуваних порошків по вуглецю необхідно застосовувати різні прийоми, значно ускладнюючі технологію.

Цинковий метод заснований на тому, що кобальт як зв'язка твердих сплавів при температурі 600-800°C розчиняється в рідкому цинку, що кінець кінцем, приводить до руйнування твердосплавних виробів.

**Аналіз досліджень проблеми і публікації.** Розробка і виробництво боеприпасів інтенсивне велися у військовий і післявоєнний час. На військових складах і в арсеналах країни скопилася величезна їх кількість, у тому числі більше 1,6 млн. тон підлягають утилізації [1]. Якщо застарілі боеприпаси виявилися непотрібними, то їх компоненти, зокрема високоякісні метали, цілком придатні для використання. З метою економії кобальту і підвищення фізико-механічних характеристик дрібнодисперсних твердих сплавів розроблені технологічні параметри імпульсного впливу дроблення твердосплавних матеріалів, що дозволяє отримати продукт з заданими властивостями.[2,3]

**Ціль роботи.** Вперше в світі розроблена промислова високоефективна технологія виробництва ріжучого, руйнуючого і формоутворювального інструменту з вольфрам кобальтових і вольфрам нікелевих сплавів шляхом прямої регенерації вторинної сировини без використання термохімічних і металургійних методів [4,5] та розроблено вперше новий твердий сплав.

Технологія принципово відрізняється від існуючих високими техніко-економічними показниками, продуктивністю, малою енергоємністю і екологічною чистотою.

**Матеріал і результати досліджень.** Нова технологія об'єднує технологі-

чні потоки утилізації твердосплавного лому, виготовлення реакційних ампул, приготування вибухової суміші і зарядів ВВ, регенерацію, класифікацію, тонкий помел і спікання, реалізація яких і забезпечує отримання готової продукції (рис. 1).

Відновлення вольфрам вміщуючий суміші здійснюється в умовах дії високих градієнтів тиску і швидкостей навантаження в реакційних циліндрових ампулах, що піддаються вибуховому навантаженню, детонацією осесиметричного заряду вибухової речовини, що генерується (ВР).

Як основна початкова сировина використовуються вольфрам кобальтовий виробничий лом (волочи, облямовування, різці, зубки, бурові вставки і т.п.), вольфрам нікелеві бронебійні сердечники снарядів, а також відходи при виробництві дроту і виробів з чистого вольфраму і карбиду бору. З метою локалізації впливу високих температур, що виникають у результаті адіабатичного ударно-хвильового стиснення речовини, робочий простір ампули вакуумувався.

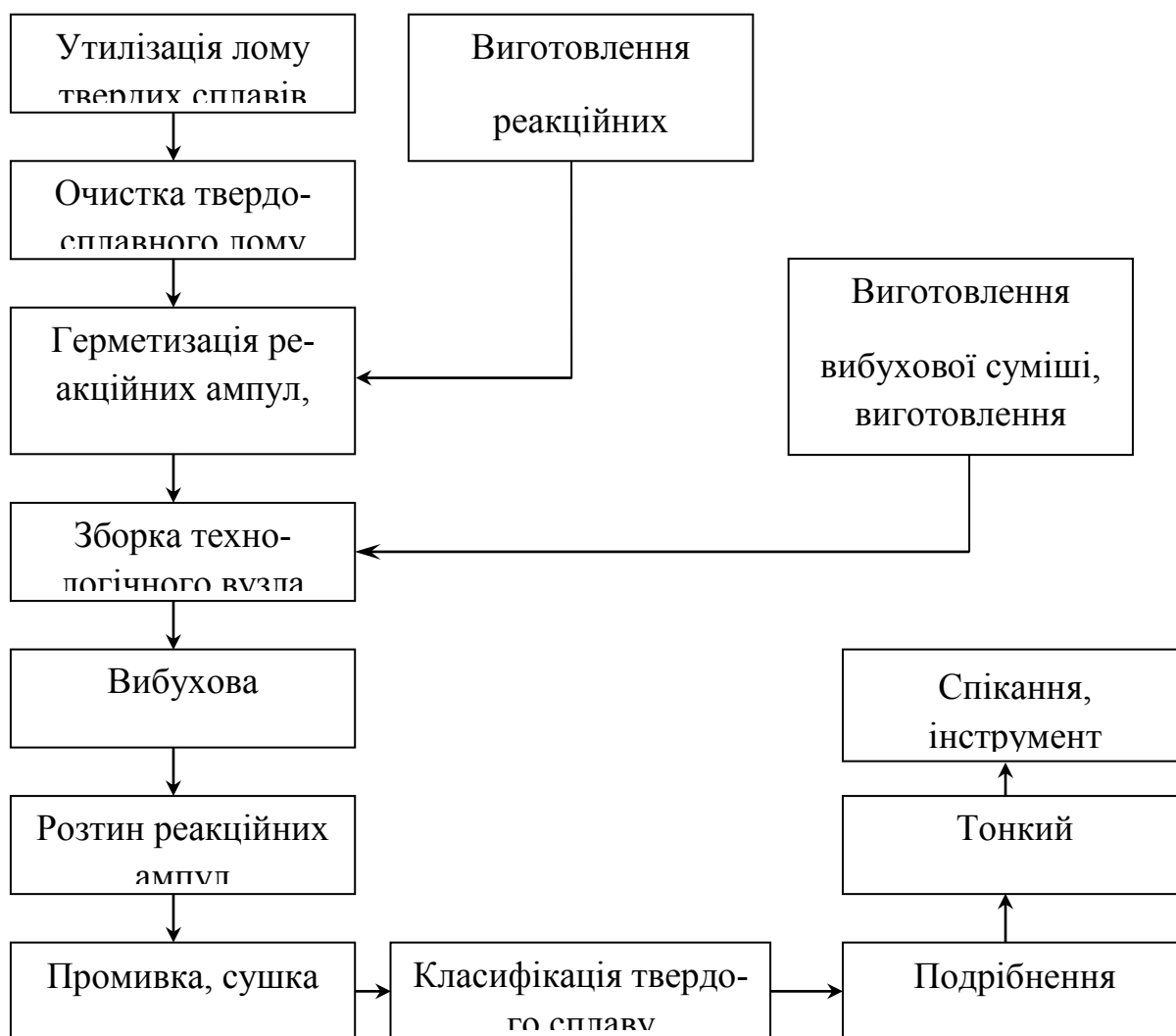


Рис. 1. Технологічна схема регенерації твердого сплаву в ударних хвилях

Металокерамічні тверді сплави відносяться до гетерогенних сумішей, в середовищі яких є поверхні, на яких відбуваються розриви будь-яких мікроскопічних параметрів. Відомі результати теоретичних і експериментальних досліджень показують, що наявність в середовищі компонентів з різною стисливістю, густиною, нерівномірністю розподілу їх за об'ємом, обумовлюють істотну різницю в природі розповсюдження ударних хвиль від місця, що має, в однорідних компактних середовищах [6]. Слід зазначити, що на відміну від класичних механіко-термічних способів дії, що мають обмежену нагоду, як по механічному, так і фізико-хімічному впливу, ударно-хвильова обробка вносить зміни в структуру на всіх масштабних рівнях.

Проведені дослідження впливу навантаження на реакційну здатність порошків показали істотне підвищення внутрішньої енергії, що значно прискорює процеси компактування і спікання порошків.

Окрім цього, збільшення кількості і густина дефектів (дислокацій) приводить до зниження енергоємності процесу подрібнення в результаті ударної обробки.

Тривалість процесу помелу порошку обробленого вибухом, більш ніж в 30 разів менше в порівнянні з існуючою технологією помелу, що сприяє зниженню енергоспоживання процесу подрібнення на 25-30%.

В таблиці приведені фізико-механічні властивості розробленого вперше нового сплаву, одержаного переробкою відходів конверсійного лому із сплаву WC+Ni і додаванням кобальту.

Сплав двофазний, пористість за об'ємом складає менше 0,1 %, фаза типу  $\eta$ 1 відсутній, зв'язка розподілена рівномірно, товщина прошарку 0,5мкм, зернистість рівномірна 1-2 мкм.

Висока ефективність нової технології підтверджена промисловими випробуваннями різців ЗР4-80 виконавських шнекових органів вугільного комбайна типу 1К101У для виїмки вугілля з пласта потужністю  $m=1$ м при тому, що притяв порід кривлі  $m=0.43$  м (піскуватий сланець).

Таблиця

Фізико-механічні властивості існуючого та розробленого сплаву

Марка сплаву	Межа міцності при вигині, Н/мм <sup>2</sup>	Густина, г/см <sup>3</sup>	Твердість, HRA
WC+Ni	1519	14.02	85
Новий сплав ВНК WC+Ni+Co	2100	14.15	90.5

Сплав двофазний, пористість за об'ємом складає менше 0,1 %, фаза типу  $\eta$ 1 відсутній, зв'язка розподілена рівномірно, товщина прошарку 0,5мкм, зернистість рівномірна 1-2 мкм.

Висока ефективність нової технології підтверджена промисловими випробуваннями різців ЗР4-80 виконавських шнекових органів вугільного комбайна типу 1К101У для виїмки вугілля з пласта потужністю  $m=1$  м при тому, що притяв порід кривлі  $m=0.43$  м (піскуватий сланець).

З використанням експериментальних різців ЗР4-80 здобуто більше 3000 тонн вугілля. Експериментальні різці мали переваги в порівнянні з традиційними, оскільки не було помічено фарбування і відривів твердосплавної ріжучої пластини від державки. Витрата експериментальних різців на 75 % менше ніж різців, серійно що виготовляються заводами України і Росії.

Різці РКС-1С у кількості 38 штук були встановлені для випробувань на шахті "Павлоградська" на комбайн ГПКС-1 в забої 551 бортового штреку пласта С5. Проходка вироблення здійснювалася по дюрено-клареновому фюзенизованому пласту з міцністю вугілля - 2 за шкалою Протодьяконова, аргеліт, міцність 1,5-2,0, ґрунт - аревроліт міцність 1,В-2 мм. Різці РКС-1С відпрацювали в лаві 24 повних зміни. Основна причина виходу з ладу - повне стирання вставок, відрив вставок від утримувача не спостерігався.

Зубки ЗР4-80М 16 штук були встановлені для випробувань на комбайн КА-85 в лаві 555, пласта С5. Виїмка вугілля здійснювалася по дюрено-клареновому, фюзенизованому пласту з міцністю вугілля - 3-4 за шкалою Протодьяконова. Зубки ЗР4-80М відпрацювали в лаві 24 повні робочі зміни. Основна причина виходу - повне стирання пластин, відрив пластин від утримувача не спостерігався.

На підставі проведених випробувань зубки ЗР4-80М показали результат якості, тривалість роботи і можуть бути рекомендовані для серійного виробництва і використання.

Експортуючи високоякісний лом, Україна одночасно імпортує в країну твердосплавний інструмент, причому об'єм імпорту постійно зростає. Це обумовлено високою концентрацією в Україні металургійних, машинобудівних і гірничодобувних підприємств — основних споживачів інструменту.

Промислове освоєння вказаної технології, причому в можливо короткі терміни, дозволяє вирішити декількох найважливіших для економіки України проблем:

- утилізацію лому надтвердих матеріалів і сплавів з їх подальшим відновленням і відповідно значною економією стратегічної сировини;
- використання нової технології з виключенням вживання малоефективних способів переробки дефіцитної сировини і випуск продукції світового рівня якості;
- поступова відмова від імпорту у бік твердосплавного металокерамічного інструменту;
- зменшення, а потім і відмова від експорту лому стратегічних матеріалів і сплавів, з переходом до експорту готових виробів-порошків і інструменту, що значно збільшить валютні надходження в країну.

**Висновок.** Показана принципова можливість використання ударно-хвильової обробки, як чинника стимулюючого процесу руйнування порошкових виробів будь-якої конфігурації, з метою отримання високоякісного порошку для подальшого формування, спікання та виробництва інструменту різного призна-

чення, запропонована екологічно чиста технологія переробки надтвердих матеріалів, металокерамічних складових застарілої військової техніки і різних видів боеприпасів, розроблено вперше новий сплав, одержаний переробкою відходів конверсійного лому із сплаву WC+Ni і додаванням кобальту.

#### Перелік посилань

1. Шикун В. (1997). Новая жизнь корпусов снарядов. - Военный парад, Москва,(7), 37-39.
2. Савченко Ю.В. (2018). Ударно-волновое разрушение твёрдого сплава. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, (54), 232-240
3. Savchenko Iu., Gurenko A., Naumenko O. (2016). Cutting-edge industrial technology of mining tool manufacturing - Mining of Mineral Deposits. 10(4), 105-110.  
<https://doi.org/10.15407/mining10.04.105>
4. Дідик, Р.П., Вьюнник, О.М., Анциферов, А.В., Савченко, Ю.В., Пашенко, Н.И., Тубеляева, Г.Д. та ін. (2000). Спосіб регенерації вольфрамівмісних твердих сплавів. Патент №15322 (Україна), МКИ В22F 3/08, 3/12; С22В 34/36, Бюл. №6.
5. Schneider, A., Anciferov, A., Savchenko, Iu., Didyk, R. and Vjunik A. (1999). Verfahren und Einrihtung zur Wiedergewinnung von harten Legierungen. 196 27 983 В22F 9/06 (DE).
6. Станюкович К.П. (1978). Неустановившиеся движения сплошной среды. М., 421-430.

#### АННОТАЦИЯ

**Цель.** Разработать промышленную высокоэффективную технологию производства режущего, разрушающего и формообразующего инструмента используя анализ технологий регенерации металлокерамических сплавов и выбрать наиболее "экологически чистой" и рентабельную технологию переработки отходов твердых сплавов.

**Методика.** В качестве методики исследования в настоящей работе были рассмотрен анализ существующих несколько методов регенерации отходов вольфрамом кобальтовых твердых сплавов: пиро- и гидрометаллургический, химический (хлорный, цинковый), термохимический и с применением энергии взрыва бризантных взрывчатых веществ.

**Результаты.** Изготовлены и испытаны резцы ЗР4-80 исполнительских шнековых органов угольного комбайна типа 1К101У и резцы РКС-1С которые были установлены для испытаний на шахте "Павлоградская" на комбайн ГПКС-1.

**Научная новизна.** Показана принципиальная возможность использования ударно-волновой обработки, как фактора, стимулирующего процессы разрушения порошковых изделий любой конфигурации, с целью получения высококачественного порошка для дальнейшей формовки, спекания и производства инструмента различного назначения, предложена экологически чистая технология переработки сверхтвёрдых материалов, металлокерамических составляющих устаревшей военной техники и различных видов боеприпасов.

**Практическая значимость.** Промышленное освоение разработанной технологии позволяет решить проблемы:

- утилизацию лома сверхтвердых материалов и сплавов с их последующим восстановлением и соответственно значительной экономией стратегического сырья;
- использование новой технологии с исключением употребления малоэффективных способов переработки дефицитного сырья и выпуск продукции мирового уровня качества;
- постепенный отказ от импорта в сторону твердосплавного металлокерамического инструмента;

– уменьшение, а затем и отказ от экспорта за пределы Украины лома стратегических материалов и сплавов, с переходом к экспорту готовых изделий – порошков и инструмента, что значительно увеличит валютные поступления в страну.

**Ключевые слова:** *вольфрам, кобальт, инструмент, твёрдый сплав, металлокерамика, переработка отходов, гетерогенная среда, дефектообразование*

### **ABSTRACT**

**Purpose.** To develop the industrial high-performance technology of cutting, destroying and shaping tools using the analysis of technologies of regeneration of metal-ceramic alloys and to choose the most "environmentally friendly" and cost-effective technology for the recycling of solid alloys.

**Methods.** As a research technique, current article considers analysis of current methods of tungsten cobalt hard alloys regeneration: pyro and hydro metallurgical, chemical (chlorine, zinc), thermochemical and using explosion energy of blasting explosives.

**Findings.** Manufactured and tested cutters ZR4-80 of the performance screw units of the 1K101U type coal combine and RKS-1C cutters, which were installed for testing at the "Pavlogradskaaya" mine on the GPKS-1 combine.

**Originality.** Fundamental way of shock wave treatment to stimulate destruction of powder product of any configuration in order to obtain a high quality powder for further formation, sintering and tool manufacturing of multiple use is demonstrated; ecologically friendly technology of hard alloys and cermet components of outdated military hardware and ammunition recycling.

**Practical implications.** Industrial mastering of the developed technology allows to solve the following issues:

- utilizing super hard metal and alloys scrap subsequent regeneration, which ensures significant savings of strategic raw material;
- the use of new technology, which excludes ineffective ways of scarce raw materials working and manufacturing products as per international standards;
- gradual reduction of import in favor of hard alloys cermet tools;
- reduction and subsequent cut down of strategic metals and alloys scrap export, shifting towards export of ready-made products – powders and tools, which will significantly increase foreign currency earnings in the country.

**Keywords:** *tungsten, cobalt, tool, hard alloy, cermet, recycling, heterogeneous medium, defect formation*