

УДК 621.791.12: 621.7.044.2

**А. А. ШАПОВАЛ, В. В. ДРАГОБЕЦКИЙ, Ю. В. САВЧЕНКО****АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ**

Проведен сравнительный экономический анализ технологий регенерации металлокерамических сплавов. 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. Промышленные испытания партий породоразрушающего инструмента, волок-заготовок для волочения труб из цветных металлов и оправок-заготовок при оценке их эффективности подтвердили высокое качество и целесообразность разработанной технологии. Продукция конкурентоспособна на мировом рынке.

В качестве методики исследования в настоящей работе рассмотрен анализ существующих методов регенерации отходов вольфрамом кобальтовых твердых сплавов: пиро- и гидрометаллургический, химический (хлорный, цинковый), термохимический и с применением энергии взрыва бризантных взрывчатых веществ. Металлокерамические твердые сплавы относятся к гетерогенным смесям, в среде которых есть поверхности, на которых происходят разрывы любых микроскопических параметров. Добыча полезных ископаемых и образующиеся при этом отходы являются одним из главных источников загрязнения окружающей среды.

Промышленное освоение разработанной технологии позволяет решить проблемы: утилизацию лома сверхтвёрдых 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.

**О. О. ШАПОВАЛ, В. В. ДРАГОБЕЦКИЙ, Ю. В. САВЧЕНКО****АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ УДАРНО-ХВИЛЬОВОЇ РЕГЕНЕРАЦІЇ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ**

Проведено порівняльний економічний аналіз технологій регенерації металокерамічних сплавів. 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, запропонована екологічно чиста технологія переробки надтвердих матеріалів, металокерамічних складових застарілої військової техніки та різних видів боеприпасів. Промислові випробування партій інструменту, що руйнує породу, волок-заготовок для волочіння труб з кольорових металів і оправок-заготовок при оцінці їх ефективності підтвердили високу якість і доцільність розробленої технології. Продукція конкурентоспроможна на світовому ринку.

В якості методики дослідження в даній роботі розглянуто аналіз існуючих методів регенерації відходів вольфрамом кобальтових твердих сплавів: піро-і гідрометалургійний, хімічний (хлорний, цинковий), термохімічний і з використанням енергії вибуху бризантних вибухових речовин. Металокерамічні тверді сплави відносяться до гетерогенним сумішей, в середині яких є поверхні, на яких відбуваються розриви будь-яких мікроскопічних параметрів. Видобуток корисних копалин і утворюються при цьому відходи є одним з головних джерел забруднення навколишнього середовища.

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 малоєфективних 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 середа, дефект утворення.

**A. SHAPOVAL, V. DRAGOBETSKII, I. SAVCHENKO,****ANALYSIS OF PROCESSES OF SHOCK-WAVE REGENERATION OF SOLID ALLOYS**

A comparative economic analysis of the regeneration technology of metal-ceramic alloys was carried out. The principal possibility of using shock-wave processing as a factor stimulating the destruction of powder products of any configuration in order to obtain high-quality powder for further molding, sintering and production of tools for various purposes is shown, an environmentally friendly technology for processing super hard materials, metal-ceramic components of obsolete military equipment different types of ammunition. Industrial tests of batches of rock-destroying tools, die-blanks for drawing pipes from non-ferrous metals and mandrels-blanks in assessing their effectiveness confirmed the high quality and feasibility of the developed technology. Products are competitive in the global market. Mining and the resulting waste are one of the main sources of environmental pollution.

As an investigation method in this paper, an analysis of existing methods of regeneration of tungsten wastes from cobalt hard alloys is considered: pyro- and hydrometallurgical, chemical (chlorine, zinc), thermochemical and using explosive energy of brizzate explosives. Metal-ceramic solid alloys refer to heterogeneous mixtures, in the medium of which there are surfaces in which there are gaps in any microscopic parameters. Extraction of minerals and formed at the same time waste is one of the main sources of pollution of the environment.

Industrial development of the technology allows us to solve the problem: recycling of scrap materials and super hard alloys and their subsequent rehabilitation and respectively-timely significant savings of strategic raw materials; the use of new technology with the exception of use of ineffective processing methods of scarce raw materials and production of world-class quality products; the phasing out of import in the direction of the carbide cermet tool; decrease, and then the rejection of exports from Ukraine scrap of strategic materials and alloys, with the transition to the export of finished products - powders and tools that will significantly increase the foreign exchange offenses in the country.

**Keywords:** tungsten, cobalt, tool, hard alloy, metal ceramics, recycling, heterogeneous medium, defect formation.

**Введение.** Дефицит вольфрама и кобальта, как материалов для повторного изготовления стратегических материалов, поставил вопрос об металлорежущего, разрушающего и использовании инструментального лома из этих формообразующего инструмента. При решении этой

проблемы на первый план выступает задача получения качественного сырья, так как первичные материалы и методы их получения оказывают существенное влияние на химический состав, дисперсность металлических порошков.

Известная утилизация вольфрамсодержащего сплава с целью повторного использования основана на химико-термических и металлургических способах регенерации, содержащих процессы плавнения, окисления, карбидизации и длительной термической обработки. Анализ этих способов показал возможность выгорания легкоплавких компонентов, низкую продуктивность, экологически вредный характер производства при исключительно высоких энергозатратах.

В связи с этим, поиск и разработка принципиально новых альтернативных решений, исключающих указанные малоэффективные способы утилизации дефицитного сырья, является важной и актуальной.

К числу таких прогрессивных направлений следует отнести использование высококомплексных источников энергии, создающих условия действия высоких градиентов давлений и скоростей нагружения для получения дефектной структуры обрабатываемого материала с целью дальнейшего тонкодисперсного его измельчения.

Металлокерамические твердые сплавы относятся к гетерогенным смесям, в среде которых есть поверхности, на которых происходят разрывы любых микроскопических параметров. Добыча полезных ископаемых и образующиеся при этом отходы являются одним из главных источников загрязнения окружающей среды. Промышленные и бытовые отходы металлов, особенно тяжёлых и редких, в виде растворимых солей, попадающие в водные бассейны (реки, озёра, водоносные слои земли), представляют серьёзную угрозу здоровью человечества, животному и растительному миру. Потому в настоящее время одним из важных путей сокращения добычи руд является утилизация и переработка отходов - вторичного сырья в промышленности.

Наиболее крупный источник вторичного вольфрама - твердосплавное производство, на долю которого приходится более половины потребляемого вольфрама.

Твердосплавный порошок предназначен для изготовления инструмента, используемого в металлургии и машиностроении. В настоящее время лом сверхтвердых сплавов экспортируется за границу, а инструмент полностью закупается предприятиями по импорту. В Украине имеются производственные мощности по переработке лома и изготовлению из полученных твердосплавных порошков инструмента гарантированного качества. Потребность Украины в твердосплавных порошках оценивается в объеме 600–700 тонн в год.

Вольфрам, кобальт и никель, основные компоненты для производства твёрдых сплавов - остродефицитные металлы. В условиях Украины отходы твёрдых сплавов могут почти на 50 % восполнить

потребность в сырье для производства твёрдых сплавов. В связи со значительно возросшей необходимостью использования вторичного вольфрамового сырья создание эффективной технологии его переработки приобретает исключительную важность. Существующие способы переработки отходов твердых сплавов включают в себя десятки технологических операций. Несмотря на постоянное совершенствование технологии и оборудования, каждая операция сопровождается неминуемыми затратами сырья, материалов и сравнительно большими потерями и выбросами продуктов и реагентов. Часть их попадает в окружающую среду. Поэтому при выборе технологии переработки отходов необходимо учитывать их происхождение, степень чистоты и однородности [1–3].

**Основная часть.** Существует несколько методов регенерации отходов вольфрамом кобальтовых твердых сплавов: пиро- и гидрометаллургический, химический (хлорный, цинковый), термохимический и с применением энергии взрыва бризантных взрывчатых веществ. Первые два способа сложны, многостадийны и трудоёмки, предполагают наличие оборудования, стойкого в агрессивных средах, а также большого расхода электроэнергии. Конечными продуктами при этих способах являются сложные соединения вольфрама, требующие дополнительной переработки. Кроме того, все они связаны с вредными условиями труда, ухудшением экологической обстановки.

Гидрометаллургическая технология включает в себя сплавление отходов с селитрой с последующим выщелачиванием сплава в слабых растворах вольфрамата натрия. И далее все операции проводят так же как при переработке вольфрамовых концентратов. Указанная технология позволяет получать вольфрамовый ангидрид и окись кобальта высокой чистоты. Этот способ незаменим при переработке отходов, неоднородных по составу и загрязнённых другими примесями (отпаянные пластины, разные марки сплавов и т.п.).

Окислительно-восстановительный способ интересен тем, что здесь используется то же самое оборудование, что и для производства твердых сплавов. Метод заключается в том, что кусковые отходы (тщательно очищенные, группы ВК) окисляют, размалывают, восстанавливают, получая смесь вольфрама и кобальта. Полученную смесь металлов карбидизируют и далее перерабатывают по типовой технологии производства твердых сплавов.

Термохимический способ, заключающийся в окислении отходов с последующим восстановлением и карбидизацией окисленных продуктов, имеет несколько вариантов, которые можно условно разделить на две группы: традиционные технологии, в которых для карбидизации используется сажа и, так называемые "бессажистые" технологии, предусматривающие проведение карбидизации в основном в метан водородной газовой среде.

В обоих случаях окисленный продукт восстанавливается в водороде, а затем восстановленные порошки либо шихтуют с сажой и карбидизируют в водороде, либо непосредственно науглероживают метановодородной смесью.

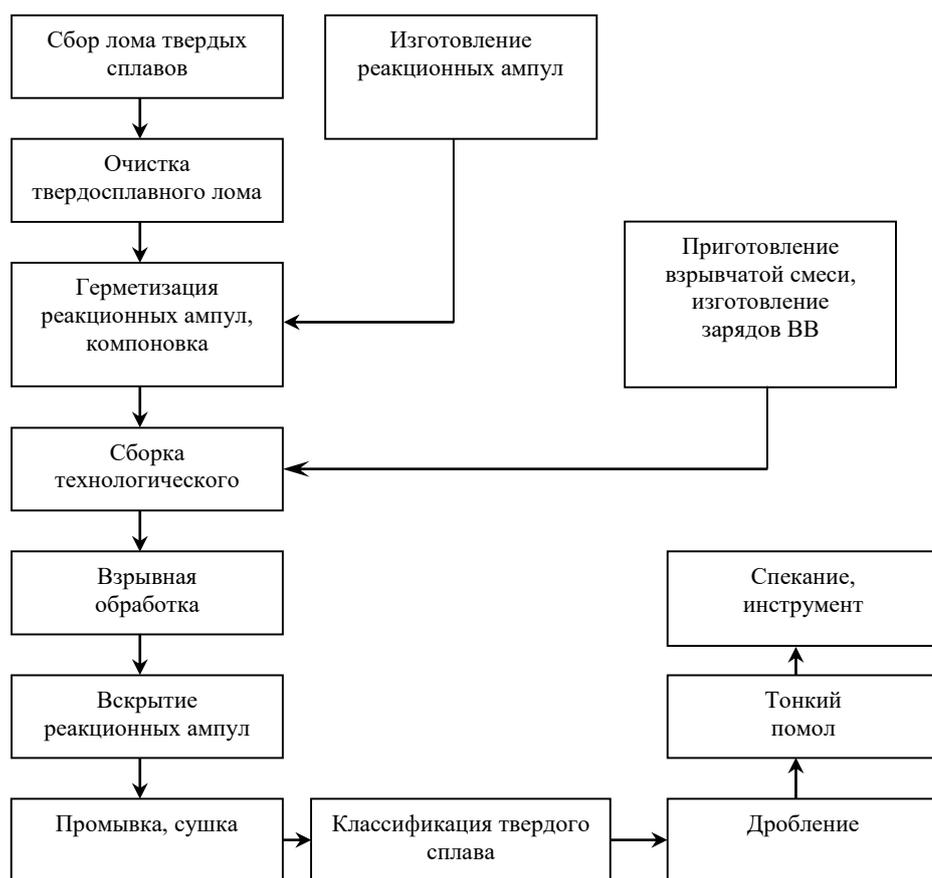


Рис. 1 – Технология регенерации вольфрамокобальтовых и вольфрамоникелевых сплавов

Однако применяющиеся составы этой смеси не обеспечивают стабильности получаемых твердосплавных смесей по содержанию углерода. Поэтому для регулирования состава получаемых порошков по углероду необходимо применять различные приёмы, значительно усложняющие технологию.

Цинковый метод основан на том, что кобальт как связка твердых сплавов при температуре 600-800°C растворяется в жидком цинке, что в конечном счете, приводит к разрушению твердосплавных изделий [4, 5].

Разработка и производство боеприпасов интенсивно велись в военное и послевоенное время. На войсковых складах и в арсеналах страны скопилось громадное их количество, в т.ч. более 1,6 млн. тонн подлежат утилизации [6, 7]. Если устаревшие боеприпасы оказались ненужными, то их компоненты, в частности высококачественные металлы, вполне пригодны для использования.

Разработана промышленная высокоэффективная технология производства режущего, разрушающего и формообразующего инструмента из вольфрамокобальтовых и вольфрамоникелевых сплавов путём прямой регенерации вторичного сырья без использования термохимических и металлургических методов [8].

Технология принципиально отличается от существующих высокими технико-экономическими показателями, производительностью, малой энергоёмкостью и экологической чистотой.

Технология объединяет технологические потоки утилизации твердосплавного лома, изготовление реакционных ампул, приготовление взрывчатой смеси и зарядов ВВ, регенерацию, классификацию, тонкий помол и спекание, реализация которых и обеспечивает получение готовой продукции (рис. 1). Восстановление вольфрам содержащей смеси осуществляется в условиях действия высоких градиентов давлений и скоростей нагружения в реакционных цилиндрических ампулах, подвергаемых взрывной нагрузке, генерируемой детонацией осесимметричного заряда взрывчатого вещества (ВВ).

Металлокерамические твёрдые сплавы относятся к гетерогенным смесям, в среде которых есть поверхности, на которых происходят разрывы любых микроскопических параметров [9, 10].

Известные результаты теоретических и экспериментальных исследований показывают, что наличие в среде компонентов с различной сжимаемостью, плотностью, неравномерностью распределения их по объему, обуславливает существенную разницу в природе распространения ударных волн от имеющего места в однородных компактных средах.

Следует отметить, что в отличие от классических механико-термических способов воздействия, имеющих ограниченные возможности, как по механическому, так и физико-химическому влиянию, ударно-волновая обработка вносит изменения в структуру на всех масштабных уровнях. В этой связи идея стимулирования процессов дефектообразования

и химической активации вольфрам содержащих сплавов ударными волнами оказалась жизненной и плодотворной [11].

Проведенные исследования влияния нагружения на реакционную способность порошков показали существенное повышение внутренней энергии, что значительно ускоряет процессы компактирования и спекания порошков. Кроме этого, увеличение количества и плотности дефектов (дислокаций) приводит к снижению энергоёмкости процесса измельчения в результате ударной обработки.

Промышленными испытаниями установлено, что длительность процесса размола порошка обработанного взрывом, более чем в 20 раз меньше по сравнению с существующей технологией размола, что способствует снижению энергопотребления процесса измельчения только по одному агрегату на 7,75 МВт. Как показывают исследования, производительность одной установки для энергетической обработки вольфрамсодержащих порошков, на основе кобальта, никеля, тантала составляет 500 тонн в год.

В таблице 1 приведены физико-механические свойства нового сплава, полученного переработкой отходов конверсионного лома из сплава WC+Ni.

Сплав двухфазный, пористость по объему составляет 0,1 %, фаза типа  $\eta_1$  отсутствует, связка распределена равномерно, толщина прослойки 0,5–1,5 мкм, зернистость равномерная 1-3 мкм, встречаются зёрна до 20,0 мкм (рис. 2).

Высокая эффективность новой технологии подтверждена промышленными испытаниями резцов ЗР4-80 исполнительных шнековых органов угольного комбайна типа 1К101У для выемки угля из пласта мощностью  $m=1$ м при присечке пород кровли  $m=0.43$ м (песчанистый сланец). С использованием экспериментальных резцов ЗР4-80 добыто 3150 тонн угля.

Экспериментальные резцы имели преимущества по сравнению с традиционными, так как не было замечено выкрашивания и отрывов твёрдосплавной режущей пластины от державки. Расход экспериментальных резцов на 75 % меньше, чем резцов, серийно изготавливаемых заводами Украины и России.

Резцы РКС-1С 38 штук были установлены для испытаний на шахте "Павлоградская" на комбайн ГПКС-1 в забое 551 бортового штрека пласта С5. Проходка выработки осуществлялась по дюрена-клареновому фюзенизированному пласти с прочностью угля - 2 по шкале Протодяконова, аргелит, прочность 1,5–2,0, грунт - аревролит прочность 1, В-2 мм. Резцы РКС-1С отработали в лаве 24 полные смены. Основная причина выхода из строя - полное стирание вставок, отрыв вставок от держателя не наблюдалось.

Зубки ЗР4-80М 16 штук были установлены для испытаний на комбайн КА-85 в лаве 555, пласта С5. Выемка угля осуществлялась по дюрена-клареновому, фюзенизированному пласти с прочностью угля - 3-4 по шкале Протодяконова. Зубки ЗР4-80М отработали в лаве 24 полные рабочие смены. Основная причина выхода - полное стирание пластин, отрыв пластин от держателя не наблюдалось.

На основании проведенных испытаний зубки ЗР4-80М показали результат качества, продолжительность

работы и могут быть рекомендованы для серийного производства и использования.

Экспортируя высококачественный лом, Украина одновременно импортирует в страну твёрдосплавный инструмент, причем объем импорта постоянно возрастает. Это обусловлено высокой концентрацией в Украине металлургических, машиностроительных и горнодобывающих предприятий – основных потребителей инструмента.

Рекомендуемый проект предусматривает организацию единственного в Украине центра по переработке лома сверхтвёрдых материалов (вольфрама, кобальта, молибдена, никеля, тантала), с объемом производства твёрдосплавного порошка 60 тонн в год. В дальнейшем целесообразно расширить участок со значительным увеличением его мощности в соответствии с потребностями рынка.

Стратегия маркетинга заключается в поставке продукции, соответствующей мировому уровню качества, по ценам ниже рыночных на 5–10%.

Новая технология устойчива к воздействию негативных факторов. Безубыточная работа участка обеспечивается при объеме продаж свыше 11 т в год.

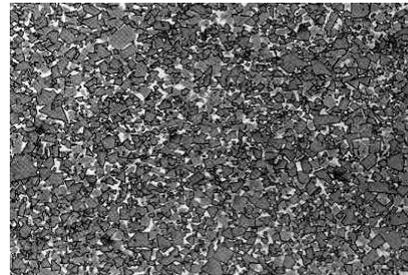


Рис. 2 – Микроструктура сплава ВНК, х400

Таблица 1. Физико-механические свойства сплава, полученного переработкой отходов конверсионного лома

Марка сплава	Предел прочности при изгибе, Н/мм <sup>2</sup>	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Твёрдость, HRA
WC+Ni	1519	14.02	85
Новый сплав ВНК WC+Ni+Co	1627	13.45	87.5

При снижении цен на готовую продукцию на 10–20% или увеличении затрат на основные материалы на 20–50%, рентабельность продукции составит 60–70%, то есть будет достаточно высокой.

Показатели экономической эффективности проекта следующие:

– чистая современная стоимость (NPV) за расчетные годы реализации проекта (5 лет) составляет более 1265 тыс. дол, что отвечает условию эффективности, при котором NPV должно быть >0;

– индекс рентабельности инвестиций (JR) - 6,0 (т.е. JR > 1);

– затраченные капиталы полностью окупятся через 8 месяцев после выделения кредита.

Промышленное освоение технологии регенерации, позволяет решить несколько важнейших для экономики Украины проблем:

– утилизацию лома сверхтвердых материалов и сплавов с их последующим восстановлением и соответственно значительной экономией стратегического сырья;

– использование новой технологии с исключением применения 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.

Работа выполнена в рамках комплексной целевой программы “Создание системы сбора, утилизации и переработки вольфрам содержащих отходов твёрдых сплавов, отходов вольфрама, молибдена, кобальта и их сплавов”.

**Выводы.** Проведен сравнительный экономический анализ технологий регенерации металлокерамических сплавов. 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. В отличие от классических способов механического воздействия, имеющих ограниченные возможности как по технологическим параметрам, так и по физическому влиянию, ударно-волновая обработка вносит изменения в структуру на всех масштабных уровнях. Промышленные испытания партий породоразрушающего инструмента, волокон-заготовок для волочения труб из цветных металлов и оправок-заготовок при оценке их эффективности подтвердили высокое качество и целесообразность разработанной технологии. Продукция конкурентоспособна на мировом рынке.

#### Список литературы

1. В. Шикун. Новая жизнь корпусов снарядов, - Военный парад, Москва, 1997. - с.37-39
2. Dragobetskii, V., Zagirnyak, M., Naumova, O., Shlyk, S., Shapoval, A. Method of determination of technological durability of plastically deformed sheet parts of vehicles // International Journal of Engineering and Technology(UAE). Vol. 7, Issue 4, 2018, P. 92-99. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.3.19558
3. Патент №15322, МКІ В22F 3/08, 3/12; С22В 34/36 (Украина), Дідик Р.П., Савченко Ю.В., Вьюнник О.М., Анциферов А.В., Пашенко Н.И., Тубеляева Г.Д. та ін. Спосіб регенерації вольфрамівмісних твердих сплавів. - Бюл. №6. -2000.
4. Станюкович К.П. - Неустойчивые движения сплошной среды. М.: Наука, 1978 - с. 421-430
5. Гуренко А.Ю. Экономическая оценка технологии регенерации сверхтвердых материалов с использованием энергии взрыва/ Ю.В. Савченко, А.Ю. Гуренко // Материалы международной конференции «Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2016» 26-27 мая 2016 / НГУ – Д., 2016. – С. 215 – 219.
6. Савченко Ю.В. Створення бурового інструменту з високим ресурсом і властивостями / Ю.В. Савченко //Сборник научных трудов международной конференции «Современные

инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2014». – Д.: НГУ, 2014. – С. 295–301.

7. Шаповал А.А. Исследование технологи производства активных элементов электродов плазмотронов из композитов на основе циркония // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2013. – : № 2(35). – С. 236–240
8. Драгобецкий В.В. Опыт-промышленный стан для бесконтейнерного вибрационного прессования вольфрамовых и молибденовых прутков / В.В. Драгобецкий, А.А. Шаповал, Д.В. Савелов, А.Г. Маркевич // Обработка металлов давлением. Сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2012. – Вып. № 4 (33) – 2012. – С. 257–261.
9. Sikulskiy, V., Kashcheyeva, V., Romanenkov, Yu. & Shapoval, A. Study of the process of shape-formation of ribbed double-curvature panels by local deforming // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 4, Issue 1 (88). – P. 43–49. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.108190
10. Dragobetskii, V., Shapoval, A., Naumova, E. & all. The Technology of Production of a Copper – Aluminum – Copper Composite to Produce Current Lead Buses of the High – Voltage Plants // 2017. – IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). – P. 400–403. DOI: 10.1109/MEES.2017.8248944
11. Іу. Savchenko, A. Gurenko, O. Naumenko. Cutting-edge industrial technology of mining tool manufacturing - Mining of Mineral Deposits. - Volume 10 (2016), Issue 4, pp. 105-110. <https://doi.org/10.15407/mining10.04.105>

#### References (transliterated)

1. V. Shikunov. Novaja zhizn' korpusov snarjadov, - Voennyj parad, Moscow, 1997. - P.37–39
2. Dragobetskii, V., Zagirnyak, M., Naumova, O., Shlyk, S., Shapoval, A. Method of determination of technological durability of plastically deformed sheet parts of vehicles // International Journal of Engineering and Technology(UAE). Vol. 7, Issue 4, 2018, P. 92–99. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.3.19558
3. Patent №15322, MKI B22F 3/08, 3/12; C22B 34/36 (Ukraine), Didik R.P., Savchenko Ju.V., Vjunnik O.M., Anciferov A.V. Pashhenko N.I., Tubeljaeva G.D. ta in. Sposib regeneracii vol'framovmishnih tverdidh spлавiv. - Bjul. No6. -2000.
4. Stanjukovich K.P. - Neustanovivshiesja dvizhenija sploshnoj sredy. Moscow: Nauka, 1978 - P. 421–430. Moscow
5. Gurenko A.Ju. Jekonomicheskaja oцenka tehnologii regeneracii sverhtverdyh materialov s ispol'zovaniem jenerгии vzryva/ Ju.V Savchenko, A.Ju Gurenko // Materialy mezhdunarodnoj konferencii «Sovremennye innovacionnye tehnologii podgotovki inzhenernyh kadrov dlja gornoj promyshlennosti i transporta 2016» 26-27 maja 2016 / NGU – Dnipro, 2016. – P. 215–219
6. Savchenko Ju.V. Stvorennja burovogo instrumentu z visokim resursom i vla-stivostjami / Ju.V. Savchenko //Sbornik nauchnyh trudov me-zhdunarodnoj konferencii «Sovremennye innovacionnye tehnologii podgotovki inzhenernyh kadrov dlja gornoj promyshlennosti i transporta 2014». – Dnipro: NGU, 2014. – P. 295–301.
7. Shapoval A.A. Issledovanie tehnologi proizvodstva aktivnyh elementov elektrodov plazmotronov iz kompozitov na osnove cirkonija // Obrabotka materialov davleniem : sbornik nauchnyh trudov. – Kramatorsk : DGMA, 2013. – : No 2(35). – P. 236–240
8. Dragobetskii V.V. Opytno-promyshlennyj stan dlja beskontejnernoгo vibracionnogo pressovanija vol'framovyh i molibdenovyh prutkov / V.V. Dragobetskii, A.A. Shapoval, D.V. Savelov, A.G. Markevich // Obrabotka metallov davleniem. Sbornik nauchnyh trudov. – Kramatorsk: DGMA, 2012. – No 4 (33) – 2012. – P. 257–261.
9. Sikulskiy, V., Kashcheyeva, V., Romanenkov, Yu. & Shapoval, A. Study of the process of shape-formation of ribbed double-curvature panels by local deforming // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 4, Issue 1 (88). – P. 43–49. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.108190
10. Dragobetskii, V., Shapoval, A., Naumova, E. & all. The Technology of Production of a Copper – Aluminum – Copper Composite to Produce Current Lead Buses of the High – Voltage Plants // 2017. – IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). – P. 400–403. DOI: 10.1109/MEES.2017.8248944
11. Іу. Savchenko, A. Gurenko, O. Naumenko. Cutting-edge industrial technology of mining tool manufacturing - Mining of Mineral Deposits. – Vol. 10 (2016), Issue 4, P. 105-110. <https://doi.org/10.15407/mining10.04.105>

Поступила (received) 05.11.2018

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Шаповал Александр Александрович (Шаповал Олександр Олександрович, Sharoval Alexander)** – кандидат технических наук, директор ООО НПП «Тангстен», г. Светловодск, Украина; ORCID: [https:// orcid.org/ 0000-0002-4303-7124](https://orcid.org/0000-0002-4303-7124); e-mail: [sharoval\\_a@kdu.edu.ua](mailto:sharoval_a@kdu.edu.ua)

**Драгобецкий Владимир Вячеславович (Драгобецький Володимир Вячеславович, Dragobetskiï Vladimir)** – доктор технических наук, профессор, Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского, заведующий кафедрой «Технология машиностроения»; г. Кременчуг, Украина; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9637-3079>; e-mail: [vldrag@kdu.edu.ua](mailto:vldrag@kdu.edu.ua).

**Савченко Юрий Владимирович (Савченко Юрій Володимирович, Savchenko Iurii)** – старший преподаватель, Национальный технический университет «Дніпровська політехніка»; г. Днепр, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7177-6311>; e-mail: [Savcheny@ua.fm](mailto:Savcheny@ua.fm)