

УДК 621.9.025.72

## Исследование режущих свойств инструментов из переработанного твердого сплава

**А.О. Потапенко, Д.В. Виноградов**

*Рассмотрена возможность изготовления режущих инструментов из твердосплавного порошка, полученного методами переработки из изношенных твердосплавных режущих пластин. Проведены сравнительные металлографические и стойкостные исследования пластин из обычного и из переработанного твердого сплава. Выявлено, что режущие пластины из переработанного цинковым методом твердого сплава не уступают стандартным пластинам как по своим физико-механическим свойствам, так и по износостойкости. Показано, что изготовление режущих инструментов из переработанного твердого сплава технически возможно и экономически целесообразно.*

**Ключевые слова:** твердый сплав, твердосплавный режущий инструмент, переработка твердых сплавов, цинковый метод.

## Investigation of the cutting characteristics of tools made of recycled hard alloy

**A.O. Potapenko, D.V. Vinogradov**

*The article deals with the possibility of manufacturing cutting tools completely of the tungsten carbide powder, obtained by methods of processing of worn out cutter plates. It has been found out that cutter plates made of hard alloy by the recycled zinc method are not inferior to standard plates as to their physical-mechanical properties and durability. It has been shown, that the manufacture of cutting tools made of recycled hard alloy is possible and economically feasible.*

**Keywords:** hard alloy, carbide-tipped cutting tools, processing of hard alloys, zinc method.

**В** настоящее время остро стоит вопрос о регенерации отходов невозобновляемых природных ресурсов, например вольфрама, тантала и других составляющих твердых сплавов. В металлообрабатывающей промышленности все большее применение находят твердосплавные режущие инструменты. Лишь некоторая часть твердосплавных изделий перерабатывается и используется повторно для изготовления горнообрабатывающих инструментов (буровых шарошек, зубков и т. д.) и износостойких деталей машин (например, втулок подшипников). Переработанный твердый сплав применяется также в незначительном объеме в качестве добавки в твердосплавную смесь при изготовлении новых режущих инструментов. Полностью из переработан-



**ПОТАПЕНКО**  
Артем Олегович  
студент  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

**POTAPENKO**  
Artem Olegovich  
student  
(MSTU named  
after N.E. Bauman)



**ВИНОГРАДОВ**  
Дмитрий Вячеславович  
кандидат технических наук,  
доцент  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

**VINOGRADOV**  
Dmitry Vyacheslavovich  
Candidate of Engineering  
Sciences, Assoc. Prof.  
(MSTU named  
after N.E. Bauman)

ного твердого сплава режущие инструменты в настоящее время не изготавливают.

Цель настоящей работы — изучение возможности изготовления режущего инструмента полностью из переработанного твердого сплава и изучение свойств твердосплавного инструмента, выполненного из переработанного сырья.

В исследовании использованы твердосплавные пластины, изготовленные из порошка, полученного цинковым методом переработки.

Цинковый метод [1–8] основан на жидкостной экстракции кобальта из твердого сплава жидким цинком с последующей дистилляцией цинка под вакуумом. Данный метод является наименее вредным для окружающей среды и наиболее полно восстанавливает отходы из вторичного сырья по сравнению со всеми известными на сегодняшний день методами переработки твердосплавных изделий. Технология цинкового метода переработки твердых сплавов разработана Горно-рудным Бюро США в начале 1970-х годов и усовершенствована российскими исследователями из компании ООО «Витс-М», которым удалось увеличить производительность переработки (по сравнению с зарубежными аналогами) в 10 раз.

Твердосплавные отходы в виде кускового твердосплавного лома и цинка в пропорции 1:1,15 по массе перерабатываются в специальной печи. При температуре в печи 600 °С примерно за 5 ч происходит расплавление цинка, и кобальт из твердого сплава переходит в расплав. Процесс сопровождается объемным расширением материала и приобретением им губчатой структуры. После полной деструкции твердого сплава, температуру в печи увеличивают до 900 °С и откачивают воздух. При этом происходит дистилляция цинка из расплава и осаждение его на специальном охлаждаемом конденсаторе. Полная дистилляция цинка осуществляется за 3 ч, после чего образуется спек карбидов вольфрама и кобальта (рис. 1), который легко перемалывается в шаровых мельницах в порошок. Этот порошок, представляющий собой смесь карбидов и кобальта, можно прессовать и изготавливать из него новые твердосплавные изделия.



Рис. 1. Спек переработанного твердого сплава

При проведении исследования были использованы две группы сменных многогранных пластин (СМП) SNMM 150408:

- 1) пластины, изготовленные из переработанного твердого сплава марки ВК6;
- 2) пластины, изготовленные из нового твердосплавного сырья марки ВК6 по стандартной технологии.

Технология прессования и спекания экспериментальных и базовых пластин идентичны — пластины спекались в печи в одной укладке. Отличие в технологии заключалось лишь в том, что порошок для изготовления экспериментальных пластин подвергался дополнительному размолу из спека в шаровой мельнице в течение 3 ч. На часть экспериментальных и базовых пластин после спекания было нанесено трехслойное CVD-покрытие.

Размеры частиц порошка до спекания в обычной смеси составляли 1,6 мкм, а частиц порошка переработанной смеси — 0,6 мкм (по данным измерений на фотоседиментометре).

После спекания и экспериментальные и базовые пластины подвергались микроструктурным исследованиям, для чего были изготовлены шлифы по технологии из ГОСТ 9391—80 «Сплавы твердые спеченные. Методы определения пористости и микроструктуры» (Приложение 2). При 1000-кратном увеличении получены фотографии микроструктуры базовой пластины (рис. 2) и переработанной пластины (рис. 3). По методике, изложенной

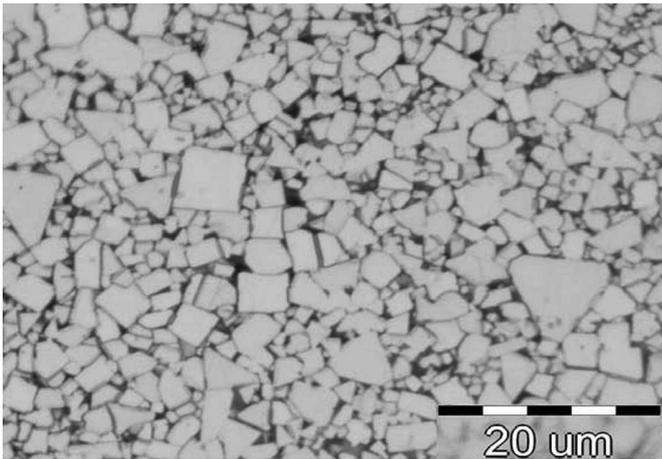


Рис. 2. Микроструктура базового твердого сплава ВК6

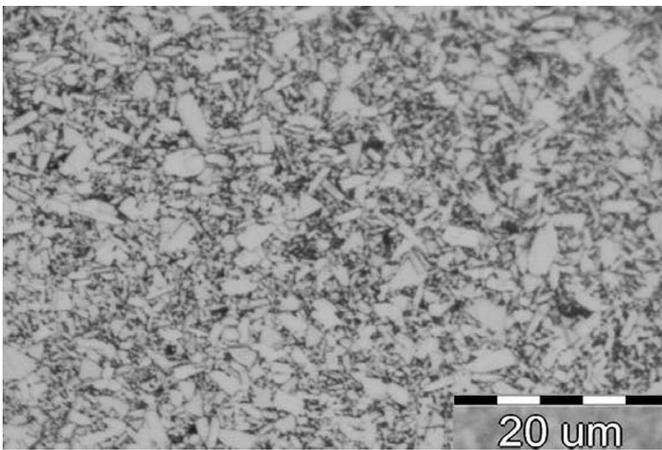


Рис. 3. Микроструктура твердого сплава из переработанного порошка

в ГОСТ 9391—80 определен средний размер зерна образцов. Для базового сплава средний размер зерна составил 2,8 мкм, а для переработанного — 1,8 мкм, что соответствует зернистости сплава ВК6-М (в соответствии с ГОСТ 4872—75 «Изделия для режущего инструмента из твердых спеченных сплавов. Технические условия»). Кроме того, на рисунках видно, что структура экспериментального сплава приобретает более упорядоченную структуру, по сравнению со структурой базового сплава.

Аналогичные результаты получены и при определении размеров зерна по коэрцитивной силе. Коэрцитивная сила у базовой пластины составляет 123 Э, а у переработанной — 233 Э, что соответствует сплаву ВК6 и ВК6-М (по ГОСТ 24916—81 «Сплавы твердые спеченные. Метод определения коэрцитивной силы»).

Наблюдаемое уменьшение размеров зерен, а также их ускоренный рост при спекании у пластин из переработанного твердого сплава (у экспериментальных пластин произошло увеличение среднего размера зерен в 3 раза, а у базового сплава — только в 1,5 раза) обусловлено тем, что переработанный порошок подвергался дополнительному размолу, приводящему к большей нагартовке частиц порошка, что, как известно, способствует более интенсивному росту зерен при спекании.

Микротвердость пластин определяли на приборе ПМТ-3. Измерения проводились в 10 точках по трем зонам шлифа: на передней поверхности, в середине образца и на опорной поверхности. Результаты экспериментов показали, что микротвердость не изменяется по толщине пластины. Средняя микротвердость базовой пластины составила 1 590 НВ, что соответствует 90,5 НРА, а микротвердость переработанной пластины — 1 980 НВ, что соответствует 93 НРА.

Таким образом, проведенные исследования показали, что свойства пластин из переработанного цинковым методом твердого сплава не уступают, а даже несколько превосходят свойства пластин из стандартного твердосплавного порошка. Поэтому пластины из переработанного твердого сплава могут быть использованы для резания металлов.

Для исследования режущей способности и износостойкости пластин из переработанного твердого сплава проведены стойкостные испытания при точении чугуна ЧВГ 45 (ГОСТ 28394—89) и стали 45 (ГОСТ 1050—88). Испытания проводились на токарно-винторезном станке мод. 16К20. Чугун обрабатывался со смазочно-охлаждающей жидкостью (СОЖ) для предотвращения запыления помещения чугунной пылью, сталь — без СОЖ. Параметры режимов резания, используемых при исследовании приведены в таблице.

После каждого прохода на микроскопе УИМ-21 проводилось измерение износа по задней и по передней поверхности пластины. По результатам измерений были построены кривые износа — зависимости величины износа от времени работы для каждой из пластин.

Сравнение величины износа на каждой скорости резания позволяет судить о работоспособности базовой и переработанной пластины. Кривые износа, полученные для различных скоростей резания, представлены на рис. 4–8. Критерием износа для каждого эксперимента является износ пластины, равный 0,4 мм.

Параметры режимов резания при исследовании износостойкости СМП

Номер опыта	Обрабатываемый материал	Покр. тие	$V$ , м/мин	$S_0$ , мм/об	$t$ , мин	Примечание
1	Чугун	Нет	50	0,2	1,5	С СОЖ
2		Нет	100	0,2	1,53	
3		Нет	150	0,2	1,54	
4		Да	200	0,2	1,55	
5		Да	250	0,2	1,56	
6		Да	300	0,2	1,57	
7	Сталь	Нет	150	0,4	1	Без СОЖ

При точении чугуна со скоростью 100 м/мин критического износа достичь не удалось, вследствие высокой стойкости пластин и большого расхода материала. Через 20 мин работы износ составил 0,2 мм.

При скорости резания 150 м/мин критический износ базовой пластины наблюдается через 4,5 мин, а переработанной — через 8 мин. Столь малый период стойкости обусловлен слишком высокой скоростью.

При скорости резания 200 м/мин критического износа достичь не удалось, вследствие

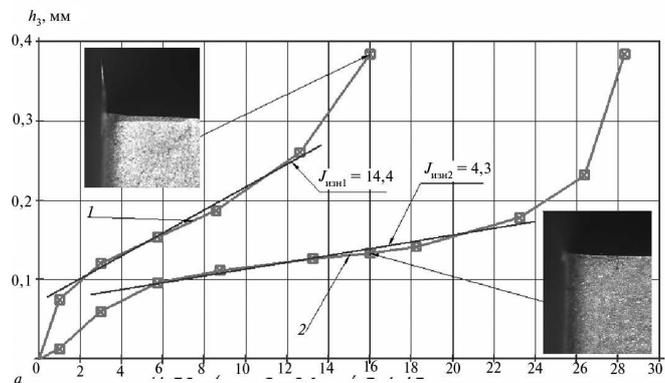


Рис. 4. Зависимость износа по задней поверхности пластин от покрытия при скорости резания: а —  $V = 50$  м/мин при точении чугуна (опыт № 1); б —  $V = 100$  м/мин при точении чугуна (опыт № 2); 1 — базовая пластина; 2 — переработанная пластина

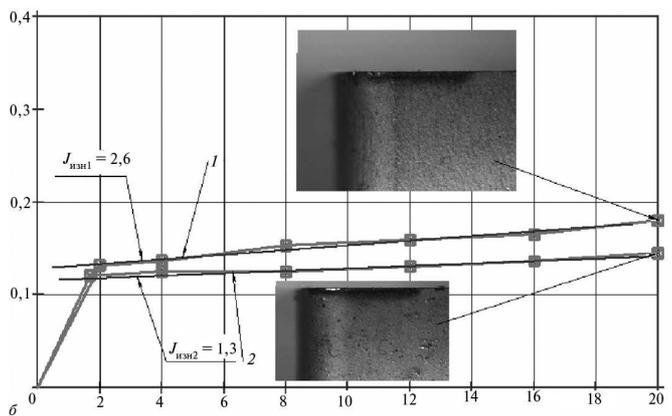
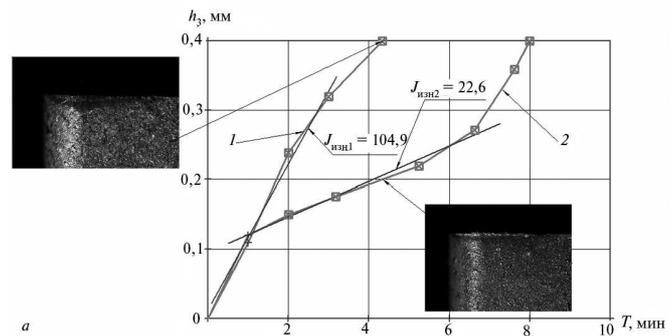
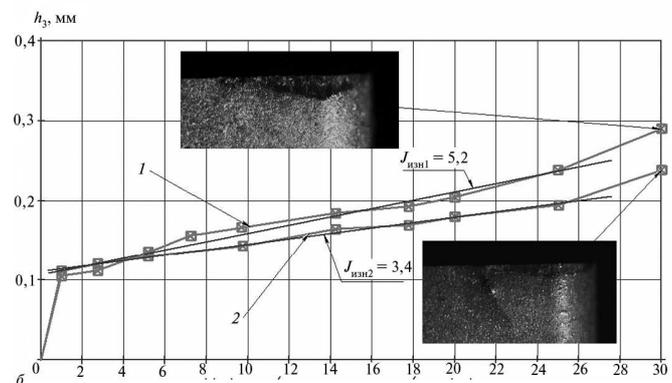


Рис. 5. Зависимость износа по задней поверхности пластинами без покрытия от скорости резания: а —  $V = 150$  м/мин при точении чугуна (опыт № 3); б —  $V = 200$  м/мин при точении чугуна (опыт № 4); 1 — базовая пластина; 2 — переработанная пластина

высокой стойкости пластин и большого расхода материала. Через 20 мин работы износ составил  $h_3 = 0,18$  мм и  $h_3 = 0,15$  мм для базовой и для переработанной пластины соответственно.

При скорости резания 250 м/мин критического износа достичь не удалось, вследствие высокой стойкости пластин и большого расхода мате-



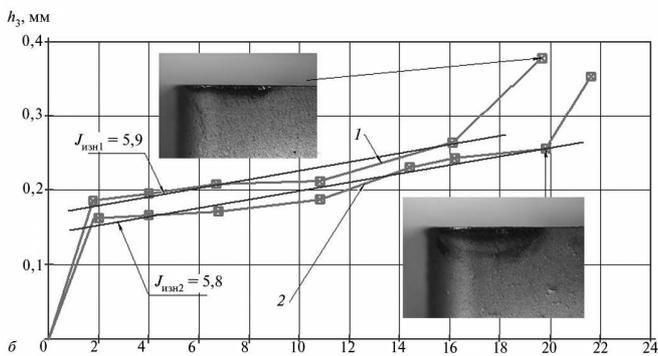
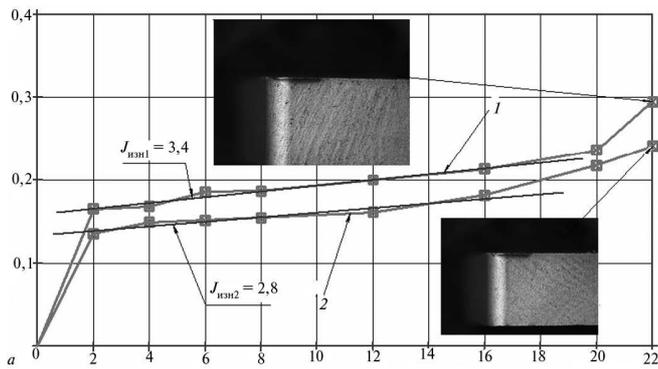


Рис. 6. Зависимость износа по задней поверхности пластин с покрытием при скорости резания: а —  $V = 250$  м/мин при точении чугуна (опыт № 5); б —  $V = 300$  м/мин при точении чугуна (опыт № 6); 1 — базовая пластина; 2 — переработанная пластина

риала. Через 22 мин работы износ составил  $h_3 = 0,29$  мм и  $h_3 = 0,24$  мм для базовой и для переработанной пластины соответственно.

При скорости резания 300 м/мин критический износ образовывался на базовой пластине через 20 мин, а на переработанной — через 22 мин. Полученный период стойкости превышает принятый для данного вида точения период стойкости на 15 мин.

При точении стали как пластинами из переработанного, так и из базового твердого сплава происходит интенсивное изнашивание по передней поверхности — образуются лунки. Это можно объяснить усиленным диффузионным изнашиванием вследствие высокой температуры на передней поверхности. По задней поверхности преобладает износ в виде проточин, который может быть вызван большой скоростью резания и работой без покрытия. Износ

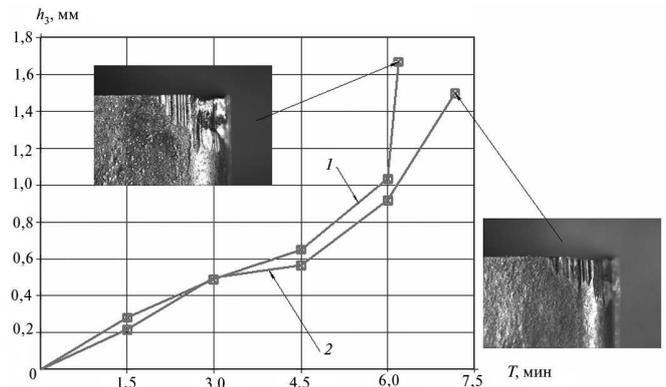


Рис. 7. Зависимость износа по задней поверхности пластин без покрытия при скорости резания  $V = 150$  м/мин при точении стали (опыт № 7): 1 — базовая пластина; 2 — переработанная пластина

по передней поверхности изменяет геометрию режущего клина и значительно ослабляет его, но не оказывает решающего воздействия на потерю работоспособности.

При проведении эксперимента базовая пластина полностью изнашивалась через 6 мин, а переработанная — через 7 мин. Причем обе кривые износа рис. 7, 8 имеют некоторое изменение наклона в своей средней части, соответствующее периоду нормальной работы.

По результатам проведенных экспериментов построены зависимости интенсивности изна-

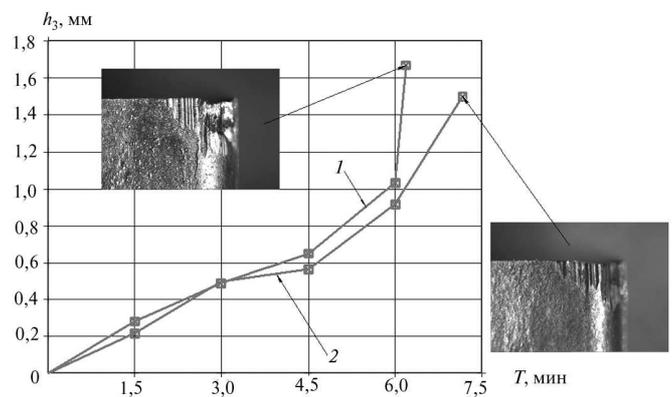


Рис. 8. Зависимость глубины лунки износа по передней поверхности от времени работы для  $V = 150$  м/мин при точении стали пластинами без покрытия:

1 — базовая пластина; 2 — переработанная пластина

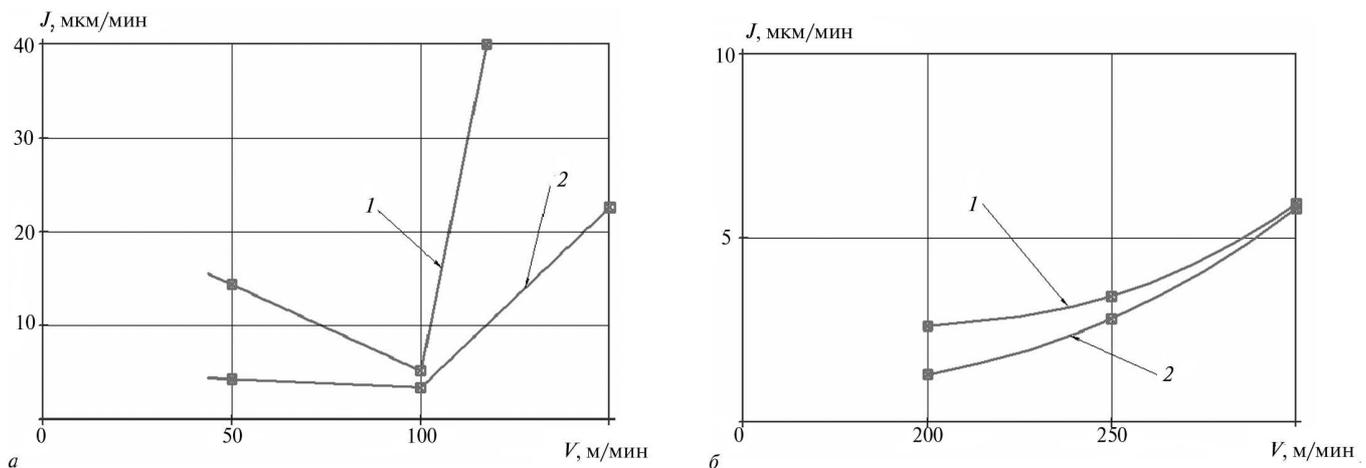


Рис. 9. Зависимость интенсивности изнашивания по задней поверхности от скорости резания при работе пластинами без износостойкого покрытия (а), с износостойким покрытием (б):

1 — базовая пластина; 2 — переработанная пластина

шивания от скорости резания, представленные на рис. 9.

На приведенных зависимостях видно, что интенсивность изнашивания пластины из переработанного твердого сплава меньше, чем пластины из базового твердого сплава

Таким образом, применение для режущих инструментов переработанного твердого сплава не ухудшает, а даже несколько улучшает эксплуатационные характеристики инструментов.

Для решения вопроса о целесообразности использования переработанного твердого сплава необходимо определить себестоимость изготовления режущих инструментов из него. Проведенные расчеты показали, что себестоимость изготовления СМП из переработанного твердого сплава на 27% ниже себестоимости изготовления пластин из обычного твердосплавного порошка.

## Выводы

1. Интенсивность изнашивания пластины из переработанного твердого сплава меньше, чем пластины из базового твердого сплава.
2. Переработка цинковым способом не оказала негативного влияния на физико-механические и режущие свойства пластин.
3. Изготовление режущих инструментов из переработанного цинковым способом твердого сплава возможно и экономически целесообразно.

## Литература

1. Панов В.С., Чувилин А.М. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них. М.: МИСИС, 2001. 428 с.
2. Либенсон Г.А., Лопатин В.Ю., Комарницкий Г.В. Процессы порошковой металлургии. В 2 т. Т. 2: Формование и спекание. М.: МИСИС, 2002. 320 с.
3. Поддубный С.В., Алкатцев М.И. Некоторые закономерности регенерации твердых сплавов WC-Co методом промышленного планируемого эксперимента // Труды молодых ученых. Владикавказский научный центр РАН. 2004. № 2. С. 19.
4. Пат. 2276193 (РФ). Способ переработки кусковых отходов твердых сплавов / Троценко И.Г., Свистунов Н.В. 2006.
5. Пат. 2277601 (РФ). Аппарат для переработки кусковых отходов твердых сплавов цинковым способом / Троценко И.Г., Свистунов Н.В. 2006.
6. Коровин С.С., Дробот Д.В., Федоров П.И. Редкие и рассеянные элементы. Химия и технология. В 3 кн. Кн. 2. М.: МИСИС, 1999. 464 с.
7. Букин В.И., Игумнов М.С., Сафонов В.В., Сафонов Вл.В. Переработка производственных отходов и вторичных сырьевых ресурсов, содержащих редкие, благородные и цветные металлы. М.: ООО Деловая столица, 2002. 224 с.
8. Дейнека С.С., Трусова В.Г., Хазан А.З. Хлоридная и регенеративная переработка отходов металлического вольфрама и твердых сплавов // Цветные металлы. 1995. № 10. С. 17—19.

## References

1. Panov V.S. Chuvilin A.M. *Tekhnologiya i svoystva spechennykh tverdykh splavov i izdelii iz nikh* [Technology and properties of sintered hard alloys and products thereof]. Moscow, MISIS publ., 2001. 428 p.
2. Libenson G.A., Lopatin V.Iu., Komarnitskii G.V. *Protsessy poroshkovoii metallurgii. Tom 2. Formovanie i spekanie* [Processes of powder metallurgy. Vol. 2. Molding and sintering]. Moscow, MISIS publ., 2002. 320 p.
3. Poddubnyi S.V., Alkatsev M.I. *Nekotorye zakonomernosti regeneratsii tverdykh splavov WC-Co metodom promyshlennogo planiruемого eksperimenta* [Some patterns of regeneration of hard alloys WC-Co by industrial planned experiment] *Trudy molodykh uchennykh. Vladikavkazskii nauchnyi tsentr RAN* [Proceedings

of Young Scientists. Vladikavkaz Scientific Center RAS]. 2004, no. 2, p. 19.

4. Trotsenko I.G., Svistunov N.V. *Sposob pererabotki kuskovykh otkhodov tverdykh splavov* [Method for processing lump waste carbide]. Patent RF, no. 2276193, 2006.

5. Trotsenko I.G., Svistunov N.V. *Apparat dlia pererabotki kuskovykh otkhodov tverdykh splavov tsinkovym sposobom* [Apparatus for processing lump waste carbide zinc way]. Patent RF, no. 2277601, 2006.

6. Korovin S. S., Drobot D.V., Fedorov P.I. *Redkie i rasseiannye elementy. Khimiia i tekhnologiia* [Rare and trace elements. Chemistry and technology]. Book 2. Moscow, MISIS publ., 1999. 464 p.

7. Bukin V.I., Igumnov M.S., Safonov V.V., Safonov V.I.V., *Pererabotka proizvodstvennykh otkhodov i vtorichnykh syr'evykh resursov, sodержashchikh redkie, blagorodnye i tsvetnye metally*

[Production waste and secondary raw materials containing rare, precious and base metals]. Moscow, Business Capital Ltd. publ., 2002. 224 p.

8. Deineka S.S., Trusova V.G., Khazan A.Z. *Khloridnaia i regenerativnaia pererabotka otkhodov metallichesкого vol'frama i tverdykh splavov* [Chloride and regenerative recycling of tungsten metal and carbide]. *Tsvetnye metally*, 1995, no. 10, pp. 17–19.

Статья поступила в редакцию 01.11.2012

## Информация об авторах

**ПОТАПЕНКО Артем Олегович** (Москва) — студент кафедры «Инструментальная техника и технология». МГТУ им. Н.Э. Баумана (Россия, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: a\_potapenko89.2@mail.ru).

**ВИНОГРАДОВ Дмитрий Вячеславович** (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технология». МГТУ им. Н.Э. Баумана (Россия, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: vdv2010@bk.ru).

## Information about the authors

**POTAPENKO Artem Olegovich** (Moscow) — student of «Instruments and Technology» Department. MSTU named after N.E. Bauman (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya, 5, 105005, Moscow, Russia, e-mail: a\_potapenko89.2@mail.ru).

**VINOGRADOV Dmitry Vyacheslavovich** (Moscow) — Candidate of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of «Instruments and Technology» Department. MSTU named after N.E. Bauman (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya, 5, 105005, Moscow, Russia, e-mail: vdv2010@bk.ru).