

doi: 10.32620/oikit.2019.85.05

УДК 621.865.6

Г. И. Костюк\*, В. В. Попов\*\*,  
М. С. Романов\*, Г. Д. Торосян\*, Е. Г. Костюк\*

## **Механическая обработка труднообрабатываемых сплавов режущими инструментами с наноструктурами**

*\*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского  
«Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина*

*\*\*АО «ФЭД», Харьков, Украина*

На основе изучения размера зерна и состава покрытия до и после обработки были проведены исследования износа и стойкости режущего инструмента (РИ) с покрытием и без покрытия. Получены зависимости снимаемого объема материала за период стойкости от износа пластин по задней поверхности, более высокие для пластин, которые обрабатывали при напряжении на подложке 250 В – выше в 2,5 раза (1,54), чем при 200 В, – в 1,46 раза (1,21). Эти величины меньше для полустойкой и черновой обработки (не обработанные пластины), что связано с размером зерна, который в первом случае составляет 93,9 нм, т.е. когда реализуются наноструктуры, тогда как для второго – размер зерна выше за счёт более длительного нанесения покрытия (30 мин вместо 25 мин в первом случае), рост температуры обеспечивает рост зерна. При токарной обработке стали 45 эффективность обработки выше, чем сплава ХН77ТЮР, т.е. обеспечивается более эффективное формообразование –  $3 \cdot 10^6$  мм<sup>3</sup> в первом случае и  $2,7 \cdot 10^5$  мм<sup>3</sup> во втором случае. Показано, что можно обеспечить эффективное формообразование титанового сплава ВТ 22 с помощью РИ из модифицированного сплава ВК10 (модифицирован нитридами хрома и алюминия, в случае точения), также обеспечивает более эффективное формообразование).

**Ключевые слова:** наноструктуры; твёрдый сплав; модификация; эффективность формообразования.

### **Введение**

В настоящее время в авиастроении всё ещё остаётся открытым вопрос обработки титановых сплавов, применение уже ставшего традиционным покрытия TiN не даст эффекта из-за высокой адгезии к титановому сплаву. Поэтому необходимо искать покрытия, имеющие минимальную адгезию к титану, кроме обеспечения минимальной адгезии следует создать покрытие с малым износом, что может быть реализовано путём образования наноструктур в поверхностном слое покрытия на режущем инструменте.

Всё это свидетельствует о важности исследования эффективности и работоспособности режущего инструмента с покрытием.

На основе исследований размера зерна и состава покрытия  $0,18\text{Hf}0,82\text{ZrN}$  до и после обработки, нанесённого при напряжении на подложке 200 и 250 В, были проведены исследования износа, стойкости РИ с покрытием и без него. Получены зависимости снимаемого объема материала за период стойкости от износа пластин по задней поверхности. Показано, что эффективность (снимаемый объём материала за период стойкости) выше для пластин, которые обрабатывали при напряжении на подложке 250 В – 2,5 (1,54 раза), как при 200 В – 1,46 (1,21 раза) эта величина меньше для полустойкой и черновой обработки (необработанные пластины). Это связано с размером

зерна, который в первом случае составляет 93,9 нм, т.е. реализуются наноструктуры, тогда как для второго случая размер зерна выше за счёт более длительного нанесения покрытия (30 мин вместо 25 мин в первом случае), которое с ростом температуры растёт.

### 1. Состояние вопроса

Методу упрочнения режущего инструмента (РИ) путём нанесения нанопокровов и образования упрочнённого слоя из наноструктур посвящено значительное число работ, результаты которых обобщены в монографиях [1-14], где рассмотрены как теоретические, так и экспериментальные работы, но механическая обработка труднообрабатываемых сплавов (например, титановых и хромоникелевых) практически не рассматривалась, особенно фрезерование. Поэтому проведение исследований по эффективности формообразования при фрезеровании и точении этих сплавов является актуальной и своевременной задачей.

### 2. Методы исследований и их аппаратное обеспечение

Износ режущего инструмента измеряли на инструментальном микроскопе, по которому определяли стойкость РИ при чистовой (износ по задней поверхности  $h_3 \leq 0,25$  мм), получистовой ( $h_3 \leq 0,4$  мм) и черновой ( $h_3 \leq 0,6$  мм) обработке. Контрольное испытание РИ по стойкости проводили с применением оптического микроскопа. Пример измерений показан на рис.1.

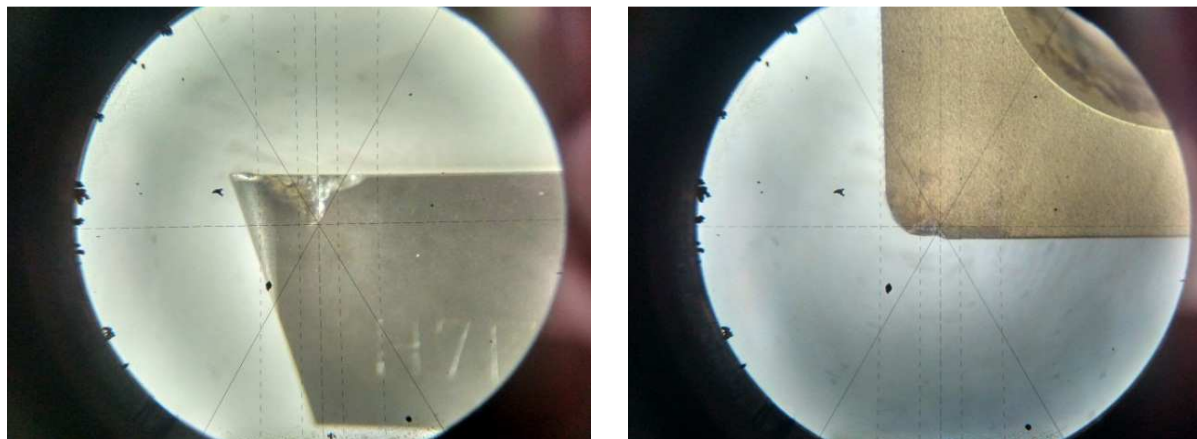


Рис. 1. Микрофотографии разрушения (термоупругое скалывание) режущей кромки РИ с покрытием

Размер зерна определяли на растровом электронном микроскопе РЭМ 108, состав – на анализаторе ДРОН-3М, измерения проводили на РИ без покрытия, с покрытием до обработки и после обработки – фрезерования титанового сплава ВТ-22, основные характеристики которого представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

## Механические свойства при T=20°C материала BT22

Сортамент	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %	КСУ, кДж/м <sup>2</sup>	Термообработка
Прутки, ГОСТ 26492-85		1030		6-8	14-20	200-250	Отжиг
Прутки, повышенное качество, ГОСТ 26492-85		1080- 1280		7- 10	17-30	250-300	Отжиг
Прутки, повышенное качество, ГОСТ 26492-85		1280		6-7	16-18	180-200	Закалка и старение

Таблица 2

## Физические свойства материала BT22

T, град	$\sigma \cdot 10^6$ , 1/град	$\lambda$ , Вт/(м·град)	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	C, Дж/(кг·град)
20		8.32	4620	
100	8	9.21		
200	8.2	10.5		0.565
300	8.4	11.7		0.586
400	8.6	13.4		0.649
500	8.8	14.6		0.712
600		15.9		

С учётом высокой адгезии к титановому сплаву большинства покрытий были проведены расчёты адгезионных характеристик по методу нашей работы [3], а покрытие имеет рейтинг 7 и 9 в случае контакта с титановым сплавом.

Покрытия наносили на модернизированной установке Булат-6, позволяющей получать равнотолщинные покрытия при потенциалах на подложке 200 и 250 В и времени нанесения покрытия 30-25 минут соответственно при давлении азота в камере 3·10<sup>-3</sup> мм рт.ст. (ТОР).

### 3. Результаты исследований фрезерования титанового сплава BT22

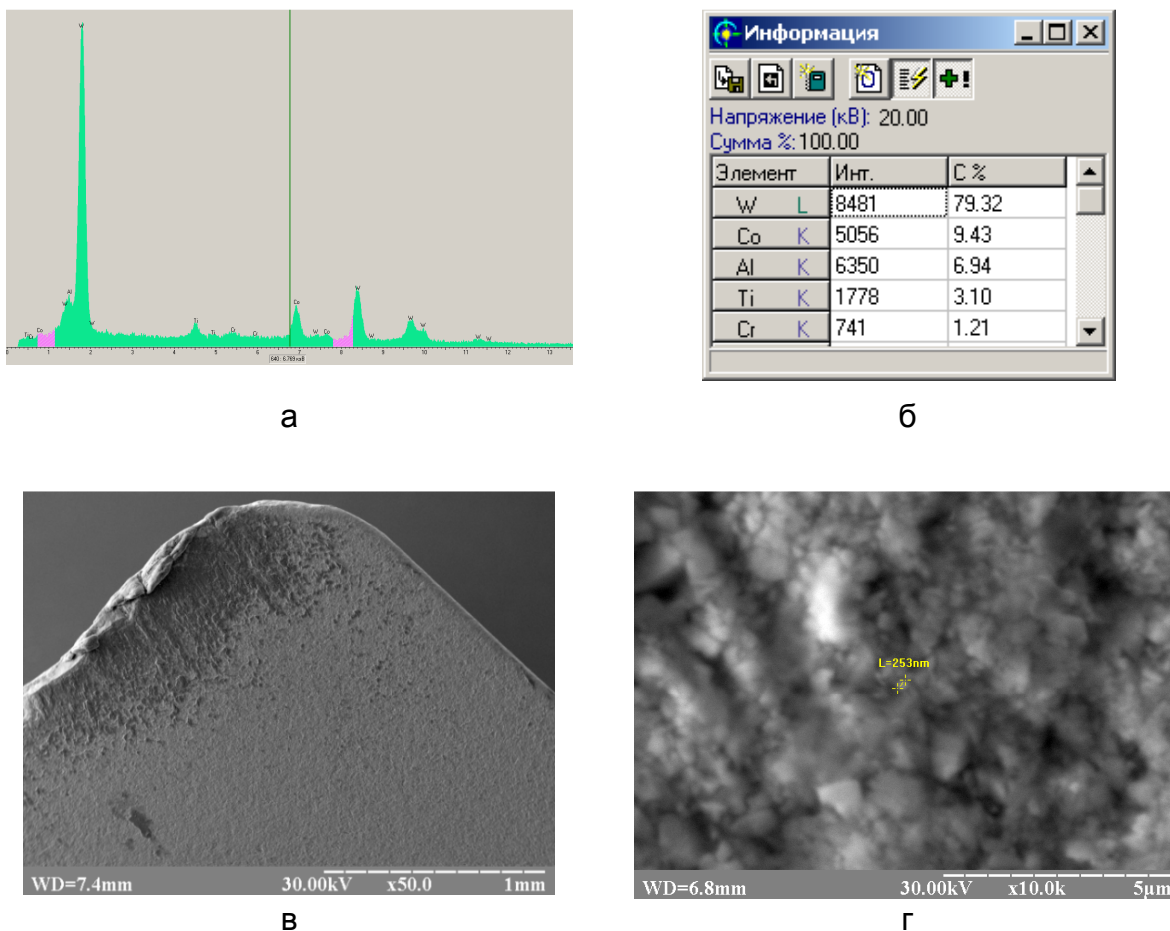


Рис. 2. Спектрограмма (а), состав (б), микрофотография зоны разрушения (в), микрофотография твёрдого модифицированного сплава BK10 без покрытия не работавшей пластины (г) - размер зерна  $a=253$  нм

Проведено исследование спектрального состава (а), элементного состава (б), зоны разрушения (в) и размера зерна (г) модифицированного твёрдого сплава (рис.2). Видно, что твёрдый сплав модифицирован алюминием (нитридом алюминия), титаном (нитридом титана), хромом (нитридом хрома), т.е. модифицированный BK10 существенно отличается от классического BK10, что, очевидно, будет влиять на его работоспособность и эффективность.

Проводили исследования размера зерна на не работающей и работающей пластине (РЭМ-106), спектрограммы и состава поверхностного слоя в рабочей и не рабочей зоне пластины. Такие исследования были проведены для твердосплавных пластин из модифицированного твердого сплава BK10 с покрытием  $0,2\text{HfN}+0,8\text{zrN}$ .

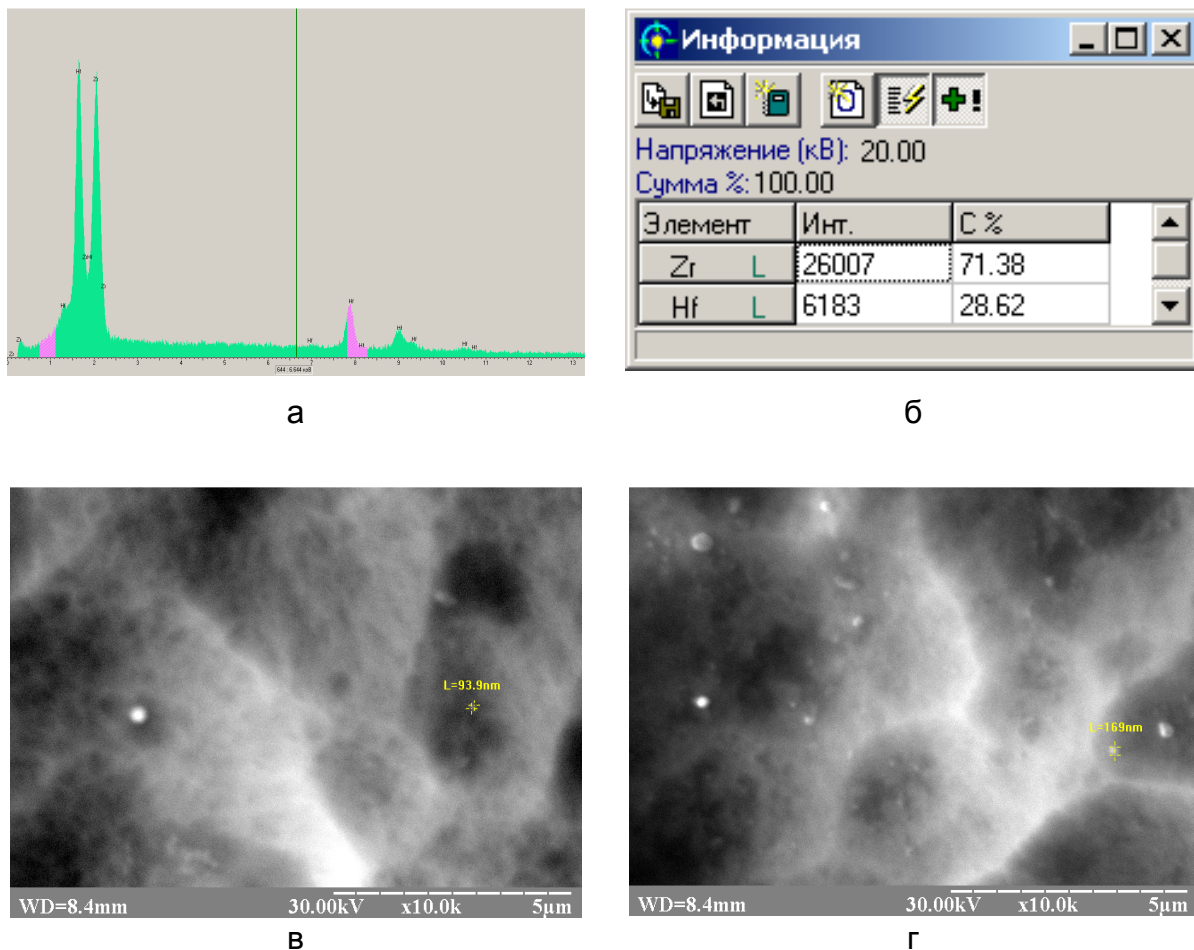


Рис. 3. Спектрограмма рабочей области (а), состав (б), микрофотография зоны разрушения (в) и микрофотография модифицированных твёрдых сплавов BK10 с покрытием  $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$  не работавшей пластины (г) –  $a = 93,9$  нм и отработавшей (д) –  $a = 169$  нм

Так, на рис. 3 и 4 показаны спектрограмма (а), состав покрытия (б), микрофотография размера зерна до обработки (в) и после фрезерования сплава BT22 (2). Анализ этих рисунков показал, что в процессе работы доля циркония (нитрида циркония) уменьшается, увеличивается доля гафния и нитрида гафния, а размер зерна в результате теплового воздействия увеличивается для всех трёх исследованных пластин с 93,9 до 169 нм, 332 до 373 нм. Тепловое воздействие на материал покрытия приводит к росту зерна и ухудшению режущих свойств покрытия путём снижения микротвердости.

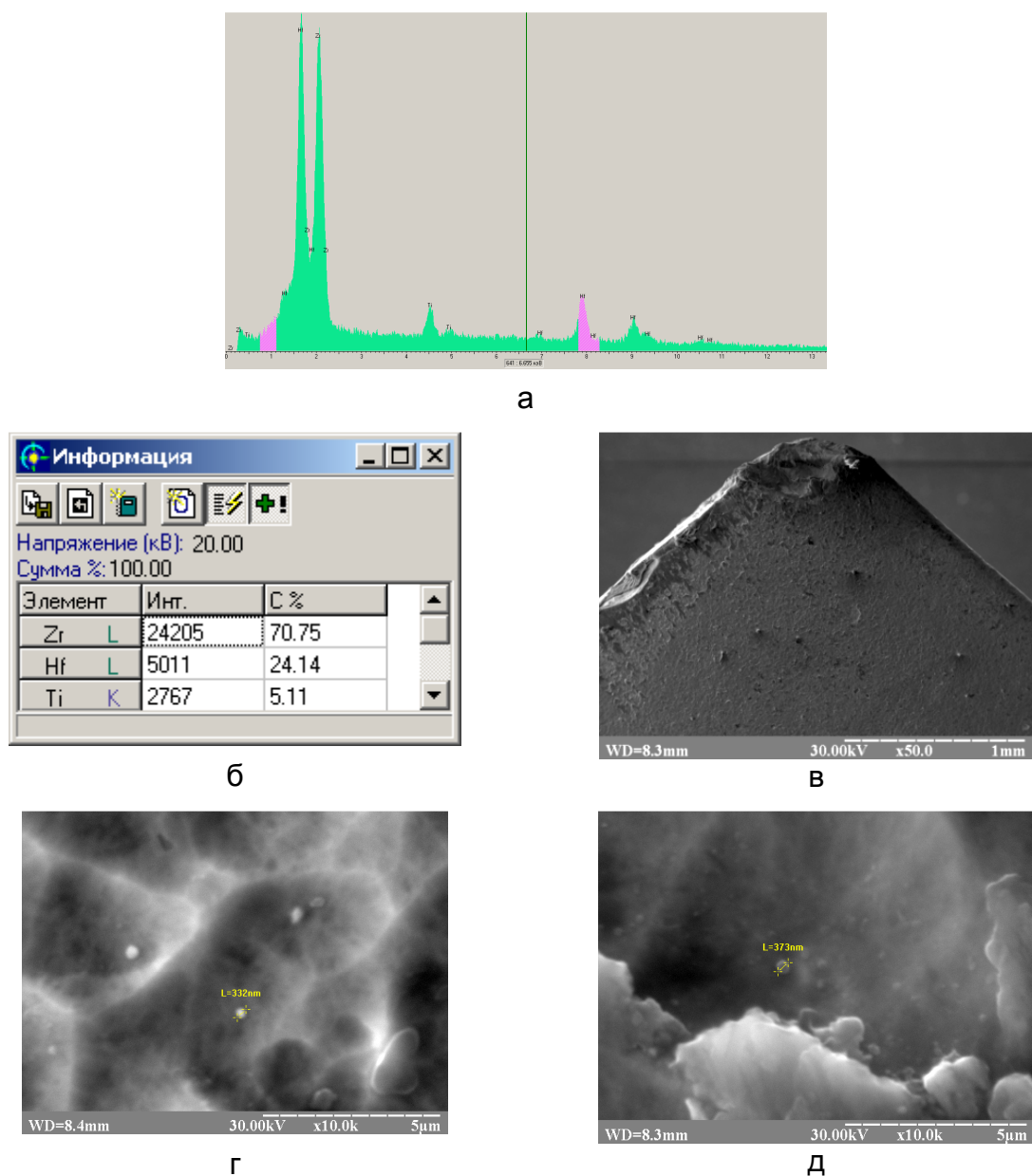


Рис. 4. Спектрограмма рабочей области (а), состав (б), микрофотография зоны разрушения (в) и микрофотография модифицированных твёрдых сплавов ВК10 с покрытием  $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$  на не работавшей пластине (г) –  $a = 332$  нм и отработавшей (д) –  $a = 378$  нм

Рассмотрено влияние режимов нанесения многокомпонентного покрытия  $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$  на возможность его применения при чистовой обработке (износ по задней поверхности не более  $h_3 = 0,25$  мм) при получистовой ( $h_3 \leq 0,4$  мм) и черновой обработке ( $h_3 \leq 0,6$  мм). При двух режимах нанесения покрытия: первый – напряжение на подложке составляет 200 В, а время  $t_{\text{нап}} = 30$  мин; второй –  $U_{\text{п}} = 250$  В, а  $t_{\text{нап}} = 25$  мин.

Исследована динамика разрушения модифицированного твёрдого сплава ВК10 с покрытием (рис.5) и показано, что реализуется термоупругое выкрашивание лезвия в зоне действия максимальных напряжений относительно далеко от вершины резца.



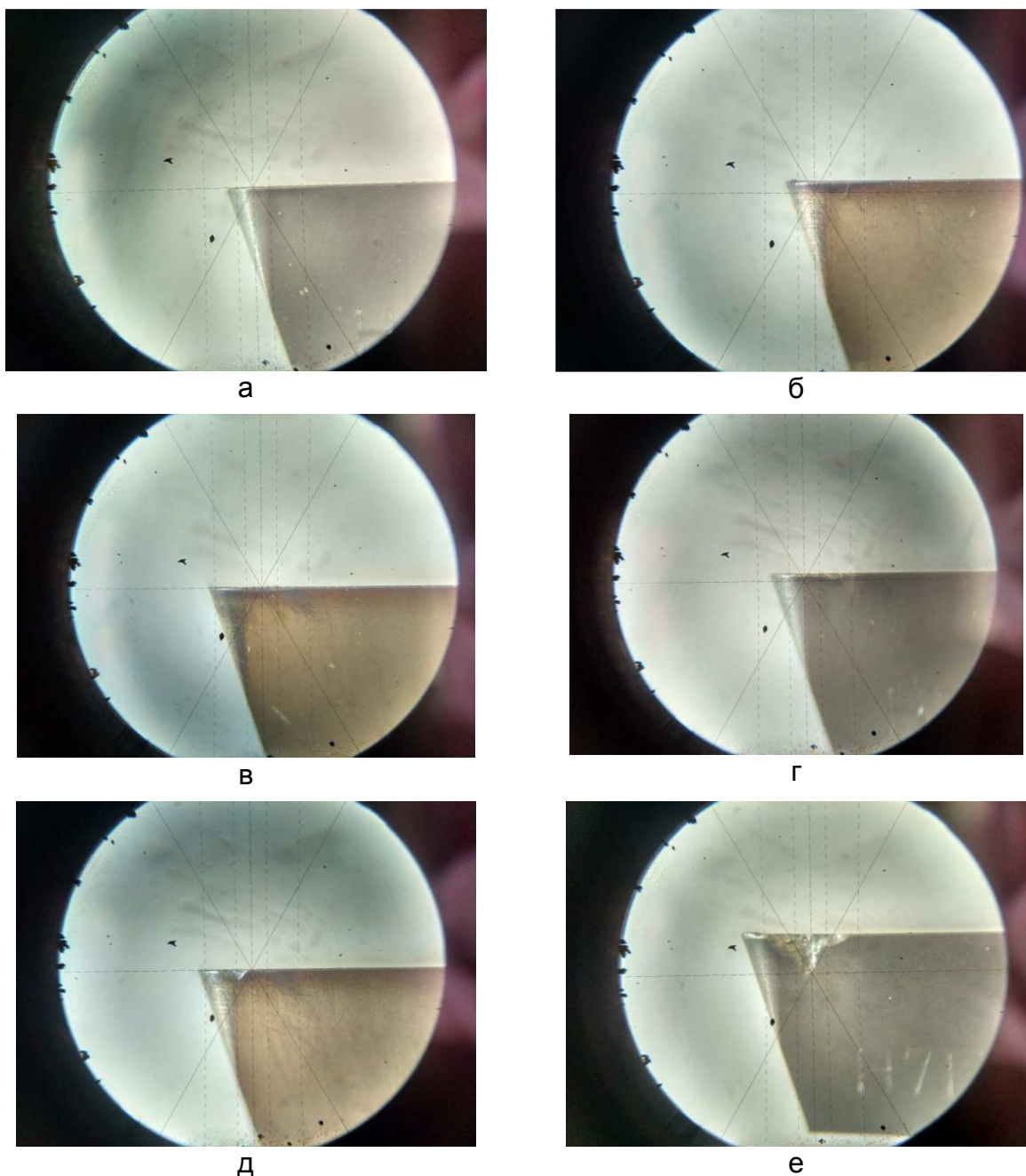


Рис. 5. Микрофотографии динамики разрушения (термоупругого скалывания) режущей кромки РИ из модифицированного твёрдого сплава ВК10 с покрытием

Ионную очистку проводили при  $U_n = 1,2$  кВ и  $t_{нап} = 5$  мин. Были получены зависимости снимаемого объёма материала за период стойкости от износа по задней поверхности и износа по задней поверхности от времени работы, что позволило найти снимаемый объём материала при черновой, получистовой и чистовой обработке при разных скоростях резания: 1,07; 1,63 и 2,2 м/с при использовании покрытий, нанесённых в режиме  $U_n = 250$  В, а  $t_{нап} = 25$  мин; второй –  $U_n = 200$  В, а  $t_{нап} = 30$  мин. Так, для скорости резания 1,07 м/с (рис.6) есть возможность повышения снимаемого объёма материала за период стойкости более чем на порядок, тогда как для скорости резания 2,2 м/с можно увеличить его только в 2,1 раза.

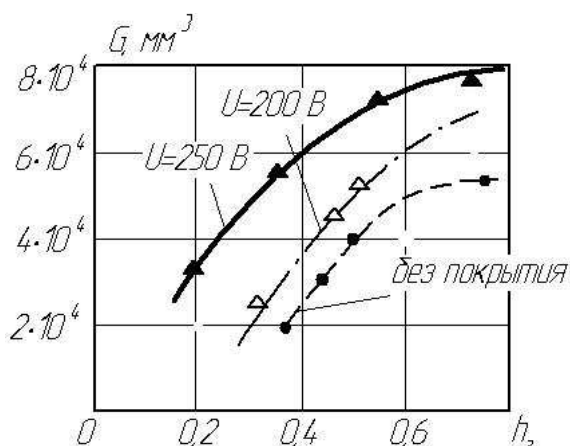


Рис. 6. Зависимости снимаемого объема материала за период стойкости РИ из ВК10 с покрытием  $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$  ( $U_n=250 \text{ В}$  -  $\blacktriangle$ ), ( $U_n=200 \text{ В}$  -  $\triangle$ ) и без покрытия -  $\circ$  при скорости резания  $1,07 \text{ м/с}$  от износа задней поверхности

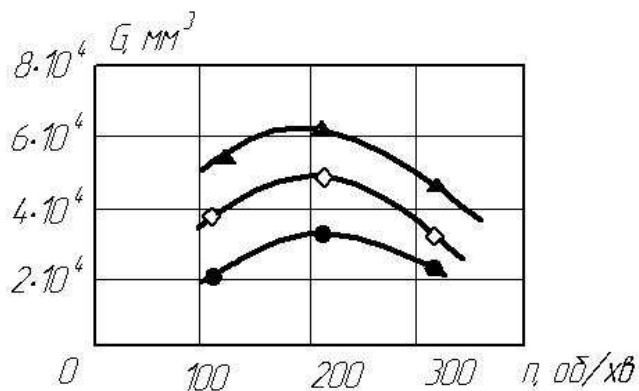


Рис. 7. Зависимости снимаемого объема материала за период стойкости при получистовой обработке от величины оборотов фрезы в минуту для пластин ВК10 (модифицированных) с покрытием  $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$  при потенциале подложки  $U_n=250 \text{ В}$  -  $\blacktriangle$  ( $t=25 \text{ мин}$ ), при  $U_n=200 \text{ В}$  -  $\bullet$  ( $t=30 \text{ мин}$ ) и для пластин без покрытия -  $\diamond$

Меньшее значение снимаемого объема при  $200 \text{ В}$  можно связать с большей длительностью плазменно-ионной обработки пластины ( $30 \text{ мин}$  вместо  $25 \text{ мин}$ ), приводящей к повышению средней температуры и росту размера зерна, а следовательно, и к снижению физико-механических характеристик покрытия.

В первую очередь микротвёрдость покрытия снижается, а следовательно, и абразивный износ растёт, который особенно существен при малых скоростях резания.

Проведено исследование влияния оборотов фрезы на величину снимаемого объема материала за период стойкости при получистовом фрезеровании (рис.7). Показано, что при  $205 \text{ об/мин}$  реализуется максимум этого значения, что позволяет использовать это значение для эффективной обработки титанового сплава ВТ-22.

Исследование фрезерования титанового сплава ВТ-22 показало, что наиболее эффективно работают пластины с наноструктурами, но в то же время в процессе работы фрезы наблюдается рост зерна от наноструктурного к субмикроструктурному, при этом снижается доля нитрида циркония в покрытии, а увеличивается доля нитрида гафния, что связано с большим испарением нитрида циркония по сравнению с нитридом гафния.

#### 4.Эффективное точение стали 45 и сплава ХН77ТЮР

Используя данные работы [14], построили зависимости стойкости РИ от износа по задней поверхности. Зависимости стойкости от износа по задней поверхности для ВК10ХОМ, ВК10ХОМ-Ti-(Ti,Al)N-TiN, ВРК-13 и ВРК-13-Ti-(Ti,Al)N-TiN показаны на рис.8 для стали 45. Видно, что максимальная стойкость реализуется для ВРК-13-Ti-(Ti,Al)N-TiN, значит, меньше для ВК10ХОМ-Ti-



(Ti,Al)N-TiN. Для этих же материалов без покрытия стойкость мала, а износ быстро растёт до катастрофического (получистовая обработка – 0,4 мм, чистовая обработка – 0,25 мм).

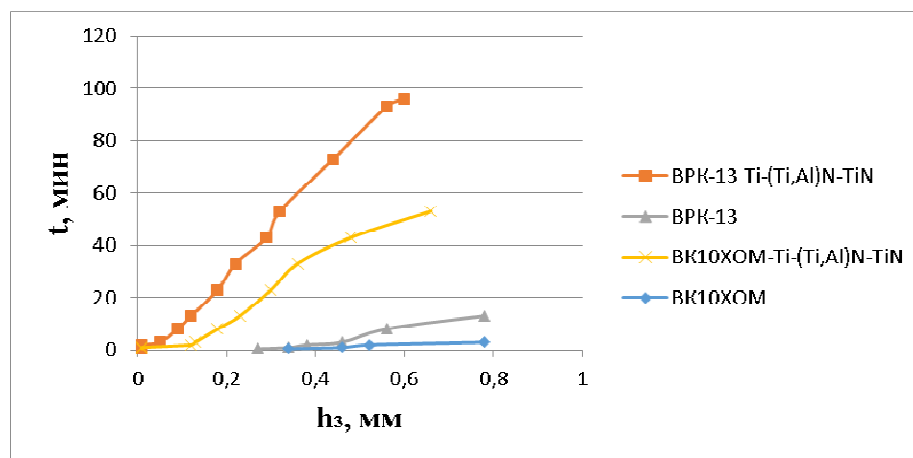


Рис. 8. Зависимость стойкости PI при точении стали 45 с  $t=1,0$  мм;  $S=0,3$  мм/об;  $v=150$  м/мин от износа задней поверхности  $h_3$  твердосплавных пластин

Аналогичные зависимости для случая точения сплава ХН77ТЮР показаны на рис.9. Видно, что максимальная стойкость реализуется так же для случая ВРК-13-Ti-(Ti,Al)N-TiN, меньшая – для ВК10XOM-Ti-(Ti,Al)N-TiN. Хотя для последнего вблизи катастрофических износов последние близки для ВРК-13, минимальное же значение реализуется для ВК-10XOM.

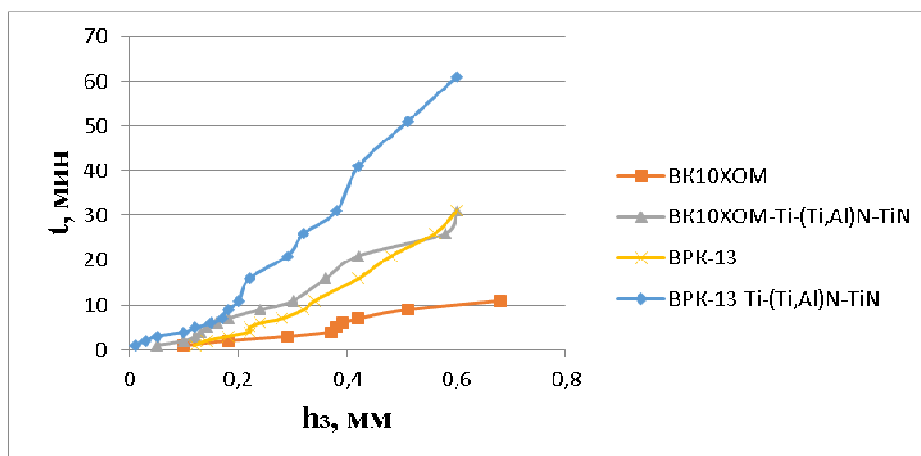


Рис. 9. Зависимость стойкости PI при точении сплава ХН77ТЮР с  $t=1,0$  мм;  $S=0,15$  мм/об;  $v=50$  м/мин от износа задней поверхности  $h_3$  твердосплавных пластин

Для объективной оценки возможности PI были построены зависимости эффективного формообразования (снимаемый объем за период стойкости) от величин износа по задней поверхности, что позволяет выбрать наиболее эффективные режущие инструменты. Так, на рис.10 показаны зависимости эффективности формообразования от износа по задней поверхности стали 45. Видно, что лучше всего в этом плане зарекомендовал себя PI ВРК-13-Ti-(Ti,Al)N-TiN. Значит, хуже работает ВК10XOM-Ti-(Ti,Al)N-TiN, тогда как эти же

РИ без покрытий работают в десятки раз хуже. Значение эффективности формообразования достигает значения порядка  $3 \cdot 10^6 \text{ мм}^3$ .

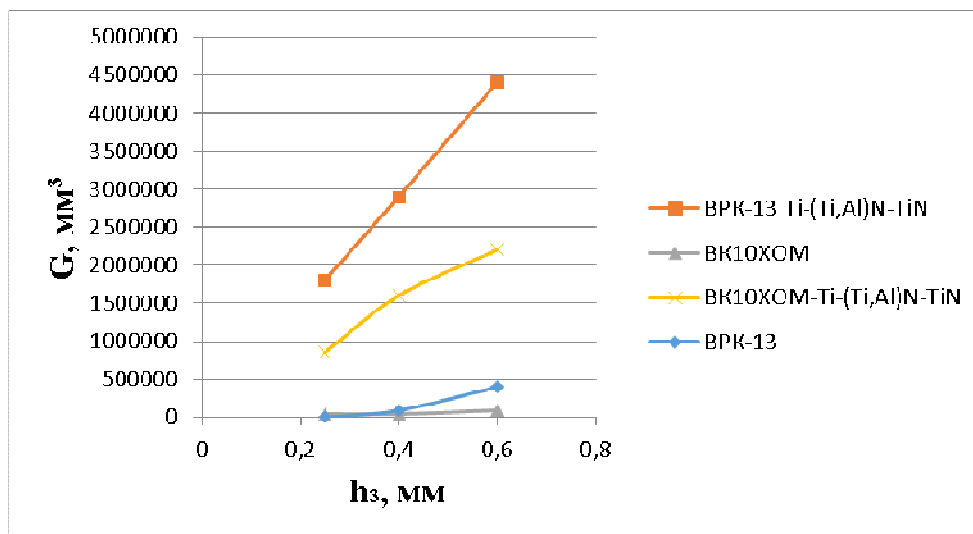


Рис. 10. – Зависимость снимаемого объема (G) материала за период стойкости при точении стали 45 от износа по задней поверхности  $h_3$  твердосплавных пластин

Аналогичные зависимости для сплава ХН77ТЮР показаны на рис.11. В этом случае максимальное значение эффективного формообразования для BPK-13-Ti-(Ti,Al)N-TiN, меньшие значения реализуются для BK10XOM-Ti-(Ti,Al)N-TiN. Хотя значения этой величины вблизи критического значения износа близки к BPK-13 без покрытия. В этом случае мы имеем несколько меньшие значения эффективности формообразования ( $h_{зад} = 0,4 \text{ мм}$ ), что составляет величину  $2,7 \cdot 10^5 \text{ мм}^3$ , т.е. в этом случае обработка сплава ХН77ТЮР более чем на порядок хуже, чем стали 45.

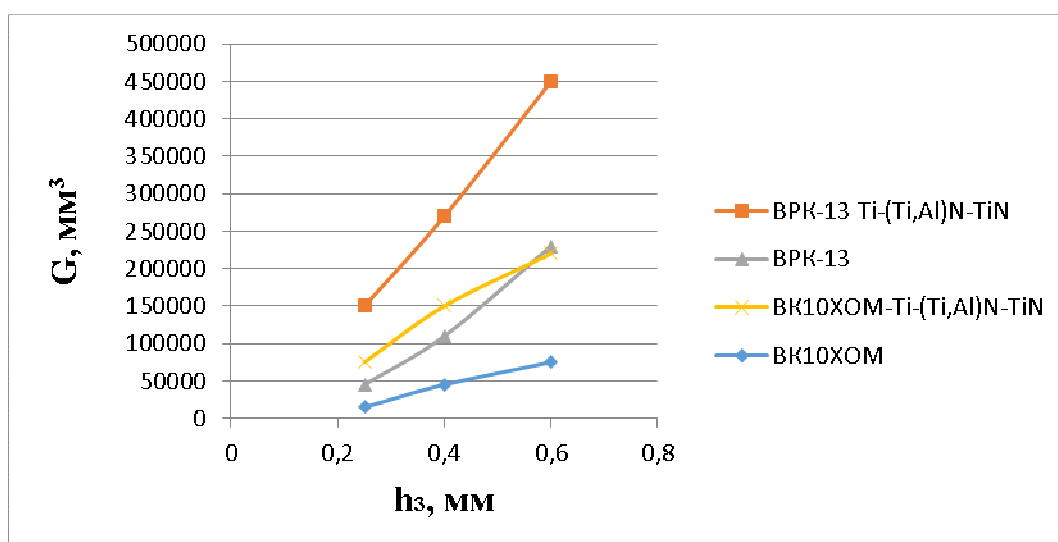


Рис. 11. – Зависимость снимаемого объема G материала за период стойкости при точении сплава ХН77ТЮР от износа по задней поверхности  $h_3$  твердосплавных пластин

## Выводы

1. В результате исследования влияния износа по задней поверхности пластины из модифицированного твёрдого сплава ВК-10 (модифицирован нитридами алюминия и хрома) на снимаемый объём материала за период стойкости при фрезеровании обнаружено:

- при энергии ионов 250 В и времени их действия 25 мин на РИ реализуются максимальные значения снимаемого объёма материала за период стойкости;

- при энергии 200 В и времени действия 30 мин на РИ реализуются меньшие значения, что связано с ростом температуры при более длительной обработке. Это связано с ростом зерна при повышении температуры.

2. Для модифицированного ВК10 с покрытием обнаружена возможность термоупругого скола в зоне действия максимальных температурных напряжений.

3. Проведенные исследования позволяют выбрать наиболее эффективные режимы обработки для чистовой, получистовой и черновой обработки.

4. Показано, что при 205 об/мин реализуется максимум этого значения, что позволяет использовать это значение для эффективной обработки титанового сплава ВТ-22.

5. Эффективность обработки стали 45 при получистовом и чистовом точении намного выше, чем сплава ХН77ТЮР. Сталь 45 позволяет обеспечить эффективное формообразование –  $3 \cdot 10^6$  мм<sup>3</sup>, тогда как сталь ХН77ТЮР – только  $2,7 \cdot 10^5$  мм<sup>3</sup>.

В заключение отметим, что есть еще много возможностей модифицировать твёрдый сплав ВК10, который может быть эффективно использован при фрезеровании и точении.

## Список литературы

1. Костюк, Г. И. Эффективный режущий инструмент с нанопокрывтиями и наноструктурными модифицированными слоями [Текст]: моногр.-справ.: в 2 кн. / Г.И. Костюк. – Харьков: «Планета-Принт», 2016. – Кн.1. Плазменно-ионные и ионно-лучевые технологии. – 735 с.

2. Костюк, Г. И. Нанотехнологии: выбор технологических параметров и установок, производительность обработки, физико-механические характеристики наноструктур [Текст]: моногр. / Г. И. Костюк. – Киев: Изд. центр Междунар. академии наук и инновац. технологий, 2014. – 472 с.

3. Костюк, Г. И. Нанотехнологии: теория, эксперимент, техника, перспективы [Текст]: моногр. / Г. И. Костюк. – Киев: Изд. центр Междунар. академии наук и инновац. технологий, 2012. – 648 с.

4. Костюк, Г. И. Наноструктуры и нанопокрывтия: перспективы и реальность [Текст]: учеб. пособие / Г. И. Костюк. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2009. – 406 с.

5. Костюк, Г. И. Научные основы создания современных технологий [Текст]: учеб. пособие / Г. И. Костюк. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2008. – 552 с.

6. Костюк, Г. И. Эффективный режущий инструмент с покрытием и упрочненным слоем [Текст]: моногр.-справ. / Г. И. Костюк. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2007. – 633 с.

7. Костюк, Г. И. Эффективный режущий инструмент с покрытием и упрочненным слоем [Текст]: справ. / Г. И. Костюк. – Киев: Вид-во АІНУ, 2003. – 412 с.

8. Гречихин, Л. И. Физика наночастиц и нанотехнологий [Текст] / Л. И. Гречихин. – Москва: УП «Технопринт», 2004. – 397 с.

9. Аксенов, И. И. Вакуумная дуга в эрозионных источниках плазмы [Текст] / И. И. Аксенов. – Харьков: Изд-во НИИ «ХФТИ», 2005. – 211 с.

10. Гусев, А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии [Текст] / А. И. Гусев. – Москва: Физматлит, 2005. – 416 с.

11. Kostyuk, G. Determination of technological parameters for obtaining nanostructures under pulse laser radiation on steel of drone engine parts [Текст] / G. Kostyuk, N. Nechiporuk, K. Kostyk. – The 10th IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT 2019 5-7 June, 2019, Leeds, United Kingdom, 2019. – P.72-77.

12. Kostyuk, G Prediction of the microhardness characteristics, the removable material volume for the durability period, cutting tools durability and processing productivity depending on the grain size of the coating or cutting tool base material [Текст] / G. Kostyuk. – Springer Nature Switzerland AG 2019 B. Gapiński et al. (Eds.): Advances in Manufacturing II - Volume 4, LNME, 2019. – P. 300–316.

13. Вакуумная дуга / под ред. И.И. Аксёнова / И.И. Аксёнова, А.А. Андреев, В.А. Белоус и др. – Киев: Изд-во «Наук. думка», 2012. – 727 с.

14. Верещака, А.С. Повышение работоспособности режущего инструмента при обработке труднообрабатываемых материалов путём комплексного применения наноструктурированного износостойкого покрытия и твердого сплава оптимального состава [Текст] / А.С. Верещака, А.В. Дачева, А.И. Аникеев. – Известия МГТУ «МАМИ» №1(9), 2010. – С. 99-105.

15. Kostyuk, G. Computer modeling of the obtaining nanostructures process under the action of laser radiation on steel [Текст] / Gennadiy Kostyuk, Viktor Popov, Kateryna Kostyk. – (2019) CEUR Workshop Proceedings, 2353, pp. 729-743.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85065470163&partnerID=40&md5=1402ac648d29511e98dfd663097aaf5>

## References

1. Kostyuk, G. I. Effektivnyy rezhushchiy instrument s nanopokrytiyami i nanostrukturnymi modifitsirovannymi sloyami [tekst]: monogr.-sprav. : v 2 kn. / G.I. Kostyuk. – Khar'kov: «Planeta-Print», 2016. – Kn.1. Plazmenno-ionnyye i ionno-luchevyye tekhnologii. – 735 s.

2. Kostyuk, G. I. Nanotekhnologii: vybor tekhnologicheskikh parametrov i ustanovok, proizvoditel'nost' obrabotki, fiziko-mekhanicheskiye kharakteristiki nanostruktur [Tekst]: monogr. / G. I. Kostyuk. – Kiyev: Izd. tsentr Mezhdunar. akademii nauk i innovats. tekhnologiy, 2014. – 472 s.

3. Kostyuk, G. I. Nanotekhnologii: teoriya, eksperiment, tekhnika, perspektivy [Tekst]: monogr. / G. I. Kostyuk. – Kiyev: Izd. tsentr Mezhdunar. akademii nauk i

innovats. tekhnologiy, 2012. – 648 s.

4. Kostyuk, G. I. Nanostruktury i nanopokrytiya: perspektivy i real'nost' [Tekst]: ucheb. posobiye / G. I. Kostyuk. – Khar'kov: Nats. aerokosm. un-t «Khar'k. aviats. in-t», 2009. – 406 s.

5. Kostyuk, G. I. Nauchnyye osnovy sozdaniya sovremennykh tekhnologiy [Tekst]: ucheb. posobiye / G. I. Kostyuk. – Khar'kov: Nats. aerokosm. un-t «Khar'k. aviats. in-t », 2008. – 552 s.

6. Kostyuk, G. I. Effektivnyy rezhushchiy instrument s pokrytiyem i uprochnennym sloyem [Tekst]: monogr.-sprav. / G. I. Kostyuk. – Khar'kov: Nats. aerokosm. un-t «Khar'k. aviats. in-t », 2007. – 633 s.

7. Kostyuk, G. I. Effektivnyy rezhushchiy instrument s pokrytiyem i uprochnennym sloyem [Tekst]: sprav. / G. I. Kostyuk. – Kiyev: Vid-vo AÍNU, 2003. – 412 s.

8. Grechikhin, L. I. Fizika nanochastits i nanotekhnologiy [Tekst] / L. I. Grechikhin. – Moskva: UP «Tekhnoprint», 2004. – 397 s.

9. Aksenov, I. I. Vakuumnaya duga v erozionnykh istochnikakh plazmy [Tekst] / I. I. Aksenov. – Khar'kov: Izd-vo NII «KHFTI», 2005. – 211 s.

10. Gusev, A. I. Nanomaterialy, nanostruktury, nanotekhnologii [Tekst] / A. I. Gusev. – Moskva: Fizmatlit, 2005. – 416 s.

11. Kostyuk, G. Determination of technological parameters for obtaining nanostructures under pulse laser radiation on steel of drone engine parts [Текст] / G. Kostyuk, N. Nechiporuk, K. Kostyk. – The 10h IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT 2019 5-7 June, 2019, Leeds, United Kingdom, 2019. – P.72-77.

12. Kostyuk, G Prediction of the microhardness characteristics, the removable material volume for the durability period, cutting tools durability and processing productivity depending on the grain size of the coating or cutting tool base material [Текст] / G. Kostyuk. – Springer Nature Switzerland AG 2019 B. Gapiński et al. (Eds.): Advances in Manufacturing II - Volume 4, LNME, 2019. – P. 300–316.

13. Vakuumnaya duga / pod red. I.I. Aksonova / I.I. Aksonova, A.A. Andreyev, V.A. Belous i dr. – Kiyev: Izd-vo «Nauk. dumka », 2012. – 727 s.

14. Vereshchaka, A.S. Povysheniye rabotosposobnosti rezhushchego instrumenta pri obrabotke trudnoobrabatyvayemykh materialov putom kompleksnogo primeneniya nanostrukturnogo iznosostoykogo pokrytiya i tverdogo pokrytiya optimal'nogo sostava [Tekst] / A.S. Vreshchaka, A.V. Dacheva, A.I. Anikeyev. – Izvestiya MGTU «MAMI» №1 (9), 2010. – S. 99-105.

15. Kostyuk, G. Computer modeling of the obtaining nanostructures process under the action of laser radiation on steel [Текст] / Gennadiy Kostyuk, Viktor Popov, Kateryna Kostyk. – (2019) CEUR Workshop Proceedings, 2353, pp. 729-743.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0>

85065470163&partnerID=40&md5=1402ac648d29511e98dfd663097aaf5

Поступила в редакцию 17.06.2019, рассмотрена на редколлегии 18.06.2019

## **Механічна обробка важкооброблюваних сплавів різальними інструментами з наноструктурами**

На основі вивчення розміру зерна і складу покриття до і після оброблення були проведені дослідження зносу і стійкості різального інструменту (PI) з покриттям і без покриття. Отримано залежності обсягу матеріалу, що знімається за період стійкості від зносу пластин по задній поверхні, більш високі для пластин, які оброблялися при напрузі на підкладці 250 В, – вище в 2,5 раза (1,54), ніж при 200 В - 1,46 рази ( 1,21). Ці величини менші для напівчистої і чорнової обробки (не оброблені пластини), що пов'язано з розміром зерна, який в першому випадку становить 93,9 нм, тобто коли реалізуються наноструктури, тоді, як для другого, – розмір зерна вище за рахунок більш тривалого нанесення покриття (30 хв замість 25 хв в першому випадку), зростання температури забезпечує зростання зерна. При токарній обробці сталі 45 ефективність оброблення вище, ніж сплаву ХН77ТЮР, тобто забезпечується більш ефективне формоутворення –  $3 \cdot 10^6$  мм<sup>3</sup> в першому випадку і  $2,7 \cdot 10^5$  мм<sup>3</sup> – у другому випадку. Показано, що можна забезпечити ефективне формоутворення титанового сплаву VT22 за допомогою PI з модифікованого сплаву BK10 (модифікований нітридами хрому і алюмінію, в разі точіння реалізована модифікація PI BK10 нітридами алюмінію і титану також забезпечує більш ефективне формоутворення.

**Ключові слова:** наноструктури; твердий сплав; модифікація; ефективність формоутворення.

## **Machining of hard-to-work alloys with cutting tools with nanostructures**

Based on the study of grain size and coating composition before and after processing, studies of wear and durability of cutting tools (RI) with and without coating were carried out. The dependencies of the removed material volume for the period of resistance from plate wear on the back surface are obtained, which are higher for plates that were processed at a voltage on the substrate 250 V higher by 2.5 times (1.54) than at 200 V - 1.46 times ( 1.21). These values are smaller for semi-finishing and roughing (not processed plates), which is related to the grain size, which in the first case is 93.9 nm, i.e. when nanostructures are realized, whereas for the second, the grain size is higher, due to the longer application of the coating (30 minutes instead of 25 minutes in the first case), the temperature rise provides grain growth. When turning steel 45, the machining efficiency is higher than that of alloy HN77TUR, i.e. more effective shaping is provided -  $3 \cdot 10^6$  mm<sup>3</sup> in the first case and  $2.7 \cdot 10^5$  mm<sup>3</sup> in the second case. It has been shown that it is possible to ensure the efficient shaping of the titanium alloy VT 22 with the help of an RI from a modified VK10 alloy (modified with chromium and aluminum nitrides;

**Keywords:** nanostructures; hard alloy; modification; shaping efficiency.



### **Сведения об авторах**

**Костюк Геннадий Игоревич** – доктор технических наук, профессор, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7584-2240>; e-mail: [gennadiykostyuk206@gmail.com](mailto:gennadiykostyuk206@gmail.com).

**Попов Виктор Васильевич** – кандидат технических наук, АО «ФЭД»; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9189-6882>; e-mail: [vvpopov123@gmail.com](mailto:vvpopov123@gmail.com).

**Романов Максим Сергеевич** – доцент, к.т.н. кафедры технологии авиадвигателестроения.

**Торосян Гоар Давидовна** – магистрант кафедры теоретической механики, машиноведения и роботомеханических систем.

**Костюк Елена Геннадиевна** – доцент, к.т.н. Инженерно-педагогическая академия.

### **About the authors**

**Kostyuk Gennadiy Igorevych** – doctor of technical sciences, professor, National Aerospace University "Kharkov Aviation Institute", Kharkov, Ukraine: ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7584-2240>; e-mail: [gennadiykostyuk206@gmail.com](mailto:gennadiykostyuk206@gmail.com).

**Popov Viktor Vasilyevich** – candidate of technical sciences, AO "FED"; Kharkov, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9189-6882>; e-mail: [vvpopov123@gmail.com](mailto:vvpopov123@gmail.com).

**Romanov Maxim Sergeevich** – docent, k.t.n. department of Technology of Aviation Engine Construction.

**Torosyan Goar Davidovna** – master's degree in the department of Theoretical Mechanics, Machine Science and Robomechanical Systems.

**Kostyuk Elena Gennadievna** – docent, k.t.n. Engineering Pedagogical Academy.