

УДК 621.787.4

**С. В. Сохань**, д-р техн. наук, **В. В. Возный**, канд. техн. наук,  
**А. А. Шульженко**, чл.-корр. НАН Украины, **А. Н. Соколов**, **В. Г. Гаргин**,  
кандидаты технических наук

*Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, ул. Автозаводская 2,  
04074 г. Киев, e-mail: kybor@ism.kiev.ua*

## **ПРИМЕНЕНИЕ АЛМАЗНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО ТЕРМОСТОЙКОГО МАТЕРИАЛА ПОВЫШЕННОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЛЯ АЛМАЗНОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ СТАЛИ 40Х**

*Изучена возможность использования нового алмазного композиционного термостойкого материала (АКТМ+) для выглаживания сталей, в частности, стали 40Х. Показано, что выглаживающий инструмент, оснащенный вставками из алмазного композита АКТМ+, при выглаживании заготовки из конструкционной легированной стали 40Х по своей стойкости не уступает инструменту, оснащеному природными алмазами. При этом шероховатость обрабатываемой поверхности соответствует требованиям, предъявляемых к данному типу инструмента.*

***Ключевые слова:** алмазный композит, выглаживание, наконечник, стойкость, шероховатость*

### **Введение**

Для получения высокого качества поверхностного слоя деталей и повышения их эксплуатационных свойств применяется алмазное выглаживание, представляющее собой процесс пластического деформирования исходного микропрофиля под действием усилия, приложенного к алмазу. В результате происходит сглаживание микрогребешков обрабатываемой поверхности и заполнение впадин микропрофиля объемом сдеформированных гребешков.

При алмазном выглаживании в поверхностном слое детали происходит упруго-пластическая деформация, сопровождающаяся упрочнением материала, появлением сжимающих остаточных напряжений и образованием ориентированной мелкозернистой структуры поверхностного слоя.

Алмазное выглаживание применяется, как правило, при обработке деталей, изготовленных из углеродистых и легированных сталей, улучшенных до 40–50 HRC<sub>3</sub> или закаленных до 55–63 HRC<sub>3</sub>, к которым предъявляются высокие требования по шероховатости и износостойкости поверхностного слоя.

При выглаживании на токарном станке стальных деталей минутная производительность составляет 30–60 мм длины детали, т. е. такая же, как и при тонком точении. Однако следует учитывать, что алмазное выглаживание обеспечивает более чистые поверхности (0,8–0,2 мкм), чем тонкое точение. Трудоемкость алмазного выглаживания деталей, изготовленных из закаленных сталей, меньше трудоемкости суперфиниша, тонкого шлифования и т. п. при требуемой шероховатости 1,6–0,8 мкм – на 10–20%, а при шероховатости поверхности 0,4–0,2 мкм – на 15–30%.

Технологические затраты на операцию алмазного выглаживания невелики. Это связано с тем, что для ее выполнения не требуется дорогостоящего оборудования, приспособления просты и дешевы, а инструмент хотя и дорогой, но обладает большой стойкостью.

Алмазный выглаживающий инструмент, как правило, представляет собой цилиндрическую державку из стали и закрепленный в ней с помощью пайки кристалл алмаза. Рабочая поверхность выглаживателя может иметь форму сферы, цилиндра, кругового тора и конуса. Наиболее распространенной в силу ее универсальности является сферическая форма [1].

Для изготовления выглаживателей используют монокристаллы природного алмаза и синтетические поликристаллические алмазы (ПСА), чаще всего типа «баллас» (АСБ) и «карбонадо» (АСПК), которые получают из графита в НРНТ условиях в присутствии сплавов-растворителей углерода, например, Ni–Cr. Деление на две группы было сделано условно по давлению проведения синтеза поликристаллов: «баллас» – при давлении 6,0 – 7,0 ГПа, «карбонадо» – при 8,0 – 12,0 ГПа [2].

Эти марки ПСА применяют в буровых коронках, для изготовления волок и инструмента, используемого при выглаживании сплавов и чугунов. Свойства этих типов ПСА (твердость, износостойкость) приближаются к свойствам природного алмаза. Преимущество их использования заключается в том, что в отличие от природного алмаза они не обладают анизотропией свойств и поэтому не требуют определенной ориентировки в державке, а недостаток – это низкая термостойкость. В то же время и «баллас» (АСБ), и «карбонадо» (АСПК) при 700 °С и выше под малейшей нагрузкой превращается в зеленоватый порошок [3]. А как известно [4], при выглаживании температура в контактной зоне оказывает существенное влияние на стойкость инструмента. Поэтому, как показали испытания [5], при выглаживании стали марки 40Х стойкость выглаживателя из природного алмаза в 2,6 раза выше, чем выглаживателя из АСБ.

При выглаживании стали ШХ15 стойкость наконечников из АСПК не отличалась от стойкости наконечников из природного алмаза [5].

Таким образом, актуальной задачей повышения эффективности алмазного выглаживания является повышение термостойкости рабочих элементов инструмента, что позволит снизить зависимость его стойкости от температуры пайки при изготовлении инструмента и температуры в зоне контакта при работе, позволит в конечном итоге увеличить скорости выглаживания.

В Институте сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины спеканием в НРНТ условиях алмазных микропорошков с добавкой n-слойных графенов ( $n \geq 2$ ) в количестве 0,01–0,30 % (по массе) получен новый алмазный композиционный термостойкий материал повышенной износостойкости (АКТМ+) с прочностью не менее, чем на 30%, и износостойкостью при точении песчаника IX категории по буримости не менее, чем в 5 раз выше, чем у поликристаллов, полученных без добавки n-слойных графенов [6]. Высокие эксплуатационные характеристики нового материала достигнуты благодаря высоким трибологическим свойствам вводимых в шихту n-слойных графенов, что обеспечивает уменьшение трения между алмазными зернами и их заклинивание на этапе холодного уплотнения шихты, что в конечном итоге позволяет получать напряженный материал с повышенной плотностью и уровнем микроискажений решетки алмаза на порядок выше, чем у поликристаллов, полученных без добавки графенов.

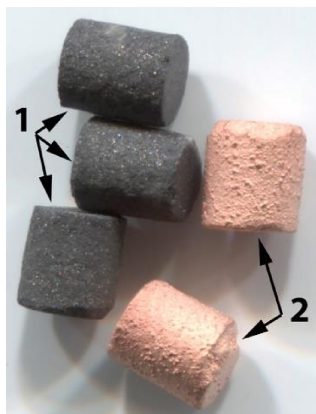
Цель работы – изучить возможность использования АКТМ+ для алмазного выглаживания сталей, в частности, стали 40Х.

#### **Исходные материалы и методы исследования**

Для изготовления АКТМ+ использовали микропорошок синтетического алмаза марки АСМ зернистости 40/28, а в качестве n-слоистого графена – продукт фирмы «Angstrom Materials, inc.» (США) марки N 002-PDR (Nano Graphene Platelets), состоящий из чешуек размером менее 10 мкм, толщиной 1,0–1,2 нм и удельной поверхностью 400–800 м<sup>2</sup>/г.

Спекание шихты проводили при давлении 7,0–7,5 ГПа, температуре 1250–1350 °С по схеме, предложенной в [7]. Продолжительность спекания составляла приблизительно 200 с.

Изготовленные образцы композита АКТМ+ имели твердость HV = 50 ГПа, их износостойкость при точении песчаника IX категории буримости составляла 0,019±0,009 [8], термостойкость 1200 °С.



*Рис. 1. Внешний вид образцов композита АКТМ+: 1 – после химической очистки; 2 – после металлизации*

После спекания поверхность полученных образцов композита диаметром 4 мм и высотой 4,5 мм подвергали химической очистке от остатков графита и металлизировали путем электролитического осаждения меди (рис. 1). Металлизированные вставки из композита АКТМ+ запаивали в отверстие стальной державки из стали 45.

Державку, армированную композитом АКТМ+, для придания необходимой геометрической формы и радиуса обрабатывали на бесцентрово-шлифовальном станке по внешней цилиндрической поверхности, которая в дальнейшем служила базой при центрировании наконечника в специальном поворотном приспособлении для формирования сферической формы рабочей части при его заточке. После обработки цилиндрической поверхности державки наконечника проводили заточку по его рабочей части под углом 100° на круглошлифовальном станке. Формирования сферической формы рабочей части наконечника выполняли на универсально-заточном станке в специальном поворотном устройстве, установленном на столе станка заточного (рис. 2).

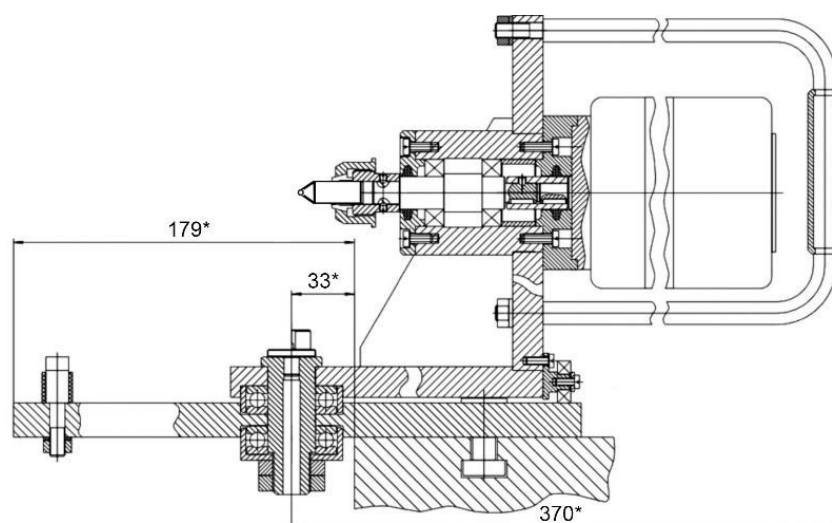


Рис. 2. Поворотное устройство для формирования сферической формы рабочей части наконечника

Радиус сферы рабочей части наконечника, который контролировали на оптическом микроскопе ММ 40 фирмы Nikon с помощью радиусомера, составлял 4 мм.

На рис. 3 показаны внешний вид и основные размеры изготовленных наконечников, армированных композитом АКТМ+.

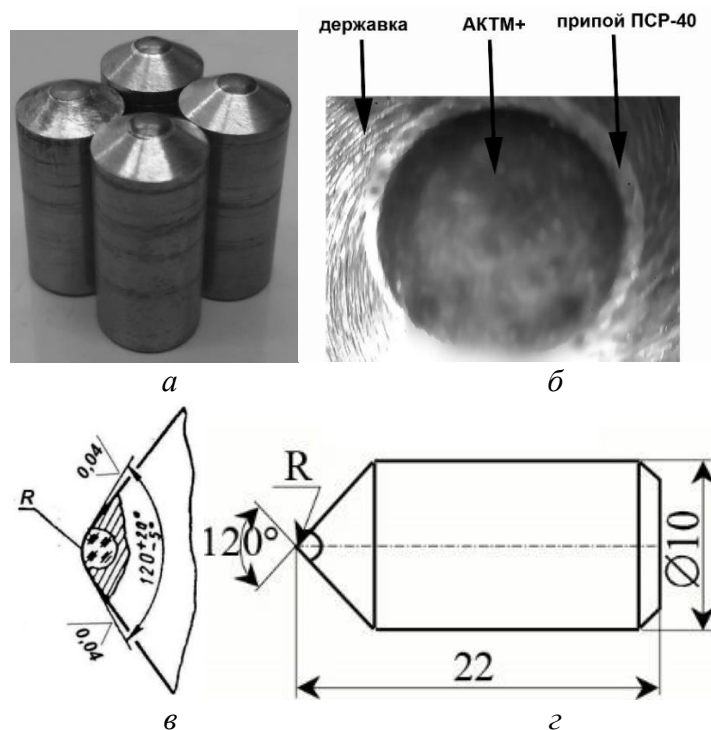


Рис. 3. Общий вид и основные размеры изготовленных износостойких наконечников



Рис. 4. Заготовка из стали 40X, закрепленная на универсальном токарном станке С11

Испытания на стойкость изготовленных наконечников, армированных композитом АКТМ+, проводили при выглаживании заготовки из конструкционной легированной стали 40X, имеющей твердость  $HV = 217$  МПа, на универсальном токарном станке С11<sup>1</sup>.

Процесс точения наружной поверхности стальной заготовки производился при ее закреплении в центрах (рис. 4) проходным резцом ССМЛF КСР в следующем режиме: подача  $f = 0,07$  мм/об; скорость резания  $v = 100-130$  м/мин. Выглаживание производили в режиме:  $f =$

$0,07$  мм/об; скорость резания  $v = 100-130$  м/мин; сила  $F_y = 150$  Н.

#### Результаты экспериментов

Критерием износа алмаза при выглаживании является резкое и необратимое ухудшение шероховатости обрабатываемой поверхности детали [9]. Устанавливаемая экспериментально пройденная длина пути выглаживателем, при которой начинается катастрофический износ алмазов, определяет стойкость алмаза.

На рис. 5 приведена зависимость шероховатости обрабатываемой заготовки из стали 40X от длины пути, пройденного наконечником, армированным композитом АКТМ+, а на рис. 6 – внешний вид рабочей части наконечника.



Рис. 5. Зависимость шероховатости обрабатываемой заготовки из стали 40X от длины пути, пройденного наконечником, армированным композитом АКТМ+

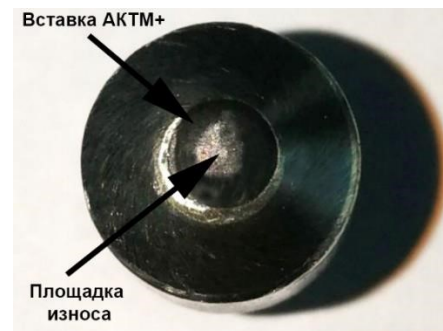


Рис. 6. Внешний вид выглаживателя, оснащенного алмазным композитом АКТМ+, после 95000 м пути

<sup>1</sup> Испытания инструмента на стойкость проводили в Техническом университете – Габрово (г. Габрово, Болгария) под руководством д.т.н. Й. Т. Максимова

Несмотря на появившуюся на вставке из АКТМ+ площадку износа после 95000 м пути, резкого ухудшения шероховатости обрабатываемой поверхности детали не произошло (рис. 5). Следовательно стойкость выглаживателя, оснащенного алмазным композитом АКТМ+, при обработке стали 40Х составляет около 100000 м пути, т. е. он по своей стойкости не уступает инструменту, оснащеному природным алмазом [5].

Таким образом, выглаживающий инструмент, оснащенный вставками из алмазного композита АКТМ+, при выглаживании заготовки из конструкционной легированной стали 40Х по своей стойкости не уступает инструменту, оснащеному природными алмазами. При этом шероховатость обрабатываемой поверхности соответствует требованиям, предъявляемых к данному типу инструмента.

*Вивчено можливість використання нового алмазного композиційного термостійкого матеріалу (АКТМ+) для вигладжування сталей, зокрема, сталі 40Х. Показано, що вигладжувальний інструмент, оснащений вставками з алмазного композиту АКТМ+, при вигладжуванні заготовки з конструкційної легованої сталі 40Х за своєю стійкістю не поступається інструменту, оснащеному природними алмазами. При цьому шорсткість оброблюваної поверхні відповідає вимогам, що висуваються до даного типу інструменту.*

**Ключові слова:** алмазний композит, вигладжування, наконечник, стійкість, шорсткість

**S. V. Sokhan, V. V. Voznyi, A. A. Shulzhenko, A. N. Sokolov, V. G. Gargin**  
**APPLICATION OF DIAMOND COMPOSITE THERMO-RESISTANT MATERIAL OF**  
**INCREASED WEAR-RESISTANCE FOR DIAMOND SMOOTHENING OF STEEL 40X**

*The possibility of using a new diamond composite heat-resistant material (ACTM +) for ironing steels, in particular, steel 40X, has been studied. It is shown that the smoothing tool, equipped with inserts from the diamond composite ACTM+, when smoothing the workpiece from structural alloyed steel 40X is not inferior to the tool equipped with natural diamonds. In this case, the roughness of the surface to be treated corresponds to the requirements for this type of tool.*

**Key words:** diamond composite, smoothing, tip, durability, roughness

### Литература

1. Степанова Т. Ю. Технологии поверхностного упрочнения деталей машин: учебное пособие. –Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2009. – 64 с.
2. Лаптев А. И. Классификация синтетических поликристаллических алмазов «баллас» и «карбонадо» // Известия Высших Учебных Заведений. Черная Metallургия. – 2014. – 57. – 1. – С.51–55. DOI:10.17073/0368-0797-2014-1-51-55.
3. Карбонадо // Энциклопедия по машиностроению XXL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mash-xxl.info/info/138394/>.
4. Кабатов А. А. Анализ финишных методов обработки поверхностным пластическим деформированием // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2013. – № 58. С. 49–54.
5. Повышение несущей способности деталей машин алмазным выглаживанием / В. К. Яценко, Г. З. Зайцев, В. Ф. Притченко, Л. И. Ивченко. – М.: Машиностроение, 1985. – 232 с.
6. Патент на корисну модель № 120296 Україна. МПК В24D 18/00, В01J 3/06. Спосіб виготовлення зносостійкого надтвердого алмазного полікристалічного

- композиційного матеріалу // О. О. Шульженко, Л. Яворска, О. М. Соколов, В. Г. Гаргін, А. П. Загора, М. В. Супрун. – Опубл. 25.10.17, Бюл. № 20.
7. Патент на корисну модель № 21897 Україна МПК С01 В 31/06, С01 В 31/04, С01 В 33/025, С04 В 35/52, С04 В 35/573. Спосіб одержання композиційного матеріалу на основі алмазу / О. О. Шульженко, В. Г. Гаргін, Н. О. Русінова. – Опубл. 10.04.07, Бюл. № 4.
  8. Новый износостойкий сверхтвердый алмазный композиционный поликристаллический материал / А. А. Шульженко, Л. Яворска, А. Н. Соколов и др. // Сверхтвердые матер. – 2018. – № 1. – С. 3–11.
  9. Торбило В. М. Алмазное выглаживание. – М.: Машиностроение, 1972. – 105 с.  
Поступила 26.04.18

### References

1. Stepanova, T. Yu. (2009). *Tekhnologii poverkhnostnogo uprochneniya detalei mashin [Technologies of surface hardening of machine parts]*. Ivanovo: Ivan. state. chem.-technol. un-t [in Russian].
2. Laptev, A. I. (2014). Klassifikatsiia sinteticheskikh polikristallicheskikhalmazov "ballas" I "karbonado" [Classification of synthetic polycrystalline diamonds "ballas" and "carbonado"]. *Izvestiia VUZov. Chernaia metallurgii – Izvestiya. Ferrous Metallurgy, Vol. 57, 51–55* [in Russian].
3. Sait entsiklopedii po mashinostroeniiu XXL [Site of the Encyclopedia of Machine Building XXL]. *mash-xxl.info*. Retrieved from <http://mash-xxl.info/info/138394/> [in Russian].
4. Kabatov, A. A. (2013). Analiz finishnikh metodov obrabotki poverkhnostnim plasticheskim deformirovaniem [Analysis of finishing methods of surface plastic deformation treatment]. *Otkrytie informatsionnye i kompiuternye integrirovannye tekhnologii – Open Information and Computer Integrated Technologies, 58, 49–54* [in Russian].
5. Yazenko, V. K., Zaitsev, G. Ts., Pritchenco, V. F., & Ivshchenko, L. I. (1985). *Povyshenie nesushchei sposobnosti detalei mashin almznym vyglazhivaniem [Increasing the load-bearing capacity of machine parts by diamond smoothing]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
6. Shulzhenko, A. A., Jaworska, L., Sokolov, A. N., et al. (2017). Patent of Ukraine 120296 [in Ukraine].
7. Shulzhenko, A. A., Gargin, V. G., & Rusinova, N. A. (2008). Patent of Ukraine 21897 [in Ukraine].
8. Shulzhenko, A. A., Jaworska, L., Sokolov, A. N., et al. (2018). Novyi iznosostoykiy sverkhkhtverdyialmaznyi kompozitsionnyi polikristallicheskiy material [Novel Wear-Resistant Superhard Diamond Composite Polycrystalline Material]. *Sverkhkhtverdye materialy – Journal of Superhard Materials, 1, 3–11* [in Russian].
9. Torbilo, V. M. (1972). *Almaznoe vyglazhivanie [Diamond smoothing]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].