

**В.В. Бурыкин, к.т.н., н.с.***Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев***Ю.А. Харламов, д.т.н., проф.***Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля  
(г. Северодонецк, Луганская обл., Украина)***В.М. Ночвай, к.т.н.***Житомирский государственный технологический университет*

### Финишные технологии обработки деталей с покрытиями

*Рассмотрены технологии финишной обработки деталей с покрытиями резанием токарным, оснащенным поликристаллическими сверхтвердыми материалами, и полировальным алмазно-абразивным эластичным инструментами. Предложена конструкция сборного проходного резца со сменным блоком, имеющего установочную рифленую поверхность для надежного крепления к державке при обработке покрытий высокой твердости. Приведены результаты экспериментальных исследований формирования поверхностного слоя деталей с покрытиями при применении на финишных операциях эластичных инструментов. Особое внимание уделено рассмотрению финишной обработки деталей лепестковыми кругами.*

**Ключевые слова:** финишная обработка; покрытие; резец; эластичный инструмент; шероховатость поверхности; лепестковый круг.

**Актуальность проблемы.** В различных областях промышленности применяются технологии нанесения покрытий, упрочнения и модификации поверхности деталей для защиты от воздействия окружающей среды и уменьшения их износа. Износ является одной из главных причин, ограничивающих ресурс рабочих поверхностей деталей машин. Интенсивность износа деталей зависит от типа машины, ее мощности, условий эксплуатации, материала деталей, применяемых способов защиты.

Эффективным методом решения задачи обеспечения высоких эксплуатационных характеристик машин и механизмов является нанесение жаропрочных, износо- и коррозионностойких покрытий на рабочие поверхности их деталей с использованием плазменных, электронно-лучевых, детонационных и других технологий. Широкое применение в процессах упрочнения и восстановления деталей машин нашли порошки систем Ni-Cr-B-Si и Fe-Cr-V.

Для обеспечения высоких эксплуатационных свойств деталей с покрытиями в результате восстановления является совершенствование технологических процессов их финишной механической обработки [1].

Значительные трудности механической обработки покрытий, связанных с их высокой твердостью, пористостью, хрупкостью, интенсивным абразивным воздействием на рабочие поверхности инструмента, невозможностью в ряде случаев использовать смазочно-охлаждающие технологические среды (СОТС), могут быть настолько велики, что вызывают необходимость оценить принципиальную возможность применения метода резания для обеспечения требуемых показателей качества изделия. Для ряда покрытий механическая обработка становится невозможной по техническим причинам – это так называемые материалы с критической обрабатываемостью резанием. Критические условия обработки определяют предельные границы целесообразного применения конкретного вида обработки. Некоторые покрытия, на отдельных операциях практически не поддаются обработке резанием лезвийными инструментами. В этих случаях следует искать решение проблемы обрабатываемости в использовании качественно новых инструментальных материалов. Одновременное обеспечение производительности технологического процесса финишной обработки и требуемых параметров состояния поверхностного слоя изделий во многом связано с применением режущих инструментов, имеющих оптимальную для каждого конкретного случая конструкцию.

В настоящее время накоплен богатый производственный опыт использования лезвийных инструментов из поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ) для финишной обработки деталей с покрытиями [2, 3, 4, 5]. Наиболее широкое применение в промышленности нашли композиты на основе кубического нитрида бора [6]. Режимы резания инструментами из таких материалов при точении указанных покрытий приведены в табл. 1.

Таблица 1

*Режимы резания при точении покрытий системы Ni-Cr-B-Si*

Материал инструмента	Режимы резания		
	скорость $v$ , м/с	подача $S$ , мм/об	глубина $t$ , мм
K01	1,0–1,2	0,07–0,09	0,3–0,5
K10	1,3–2,0	0,10–0,15	0,3–1,0
K09	1,5–2,5	0,10–0,30	0,2–2,0

Возросшие требования к производительности, качеству и экономичности финишной обработки деталей с покрытиями привели к применению отделочных операций эластичными инструментами для снятия разупрочненного в результате предыдущей механической обработки слоя и обеспечения требуемой шероховатости поверхности [7].

Особенно эффективна технология для обработки восстановленных деталей изготовленных из прутковых и тонкостенных нежестких заготовок – валы, оси, втулки, трубы, сосуды и другие с фасонными поверхностями изделия предприятий машиностроения; матрицы и пуансоны штампов инструментального производства; нитепроводники с наружной рабочей поверхностью текстильных машин [8].

**Цель настоящей работы** – повышение эффективности финишной технологии обработки при точении деталей с труднообрабатываемыми покрытиями за счет усовершенствования конструкций резцов с механическим креплением режущих блоков с пластинами ПСТМ и обеспечение качества обработанной рабочей поверхности эластичными инструментами.

Основная часть. Учитывая, специфические структуру и свойства труднообрабатываемых материалов, а также особенности макрогеометрии деталей, особое место при проектировании лезвийного инструмента приобретают его конструктивные мероприятия по креплению режущих пластин из ПСТМ. Если конструкция инструмента с механическим креплением пластин технически неосуществима, то применяют паяный инструмент из ПСТМ, оснащенный сменными вставками или блоками. Наличие подложки позволяет повысить прочность режущих элементов, уменьшить толщину слоя ПСТМ, осуществлять пайку пластины непосредственно к вставке или блоку.

Максимально возможное использование материала режущей пластины, постоянство положения вершины резца на линии центров токарного станка и высокая надежность крепления режущей пластины в инструменте при точении деталей из труднообрабатываемых материалов достигается с применением его технологичной сборной конструкции [9].

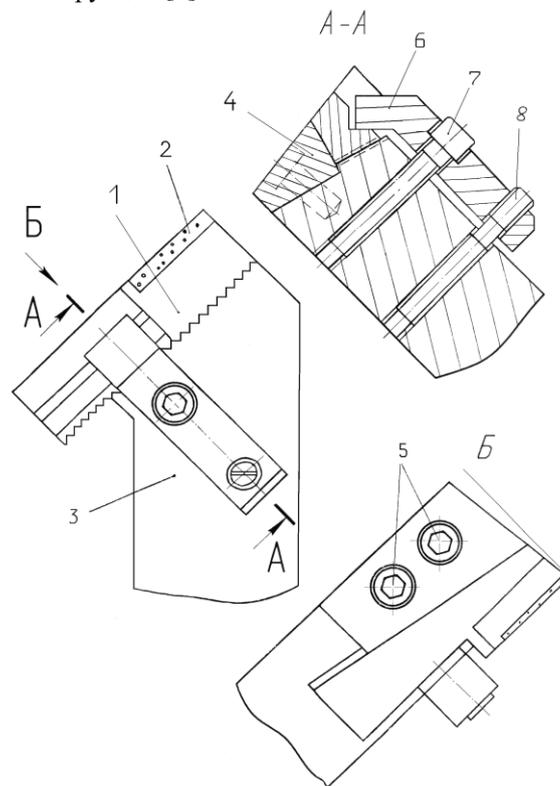


Рис. 1. Сборный проходной резец с разрезом А-А и видом Б: 1 – блок; 2 – режущая пластина; 3 – державка; 4 – опорная пластина; 5 – винт; 6 – прихват; 7 – крепежный винт; 8 – дифференциальный винт

Сборная конструкция инструмента (рис. 1) спроектирована с выдвижным режущим блоком в виде прямого параллелепипеда, не только для повышения надежности крепления, периода стойкости и ресурса режущей пластины из ПСТМ, но и для применения многократной переточки токарного резца. Он состоит из блока 1 с напаянной режущей поликристаллической пластиной 2, закрепленного в державке 3, опоры 4 закрепленной двумя винтами 5 и прихвата 6 с крепежным 7 и дифференциальным 8 винтами.

Режущий блок изготовлен с рифлями на боковой опорной стороне для сопряжения с соответствующими рифлями на главной задней поверхности державки и опорой под углом подъема к основной плоскости инструментальной системы координат, закрепленной винтами к державке. Шаг рифли  $P$  и угол подъема  $\tau$  конструкции реза подбираются по отношению  $P = h/\text{tg}\tau$ , где  $h$  – допустимая величина фаски износа режущей пластины по задней поверхности.

В поперечном сечении режущий блок представляет собой четырехгранник с двумя опорными плоскостями под углами в поперечном и продольном направлениях к основной плоскости и рифленой в направлении к основной плоскости под прямым углом. Третья задняя поверхность блока под углом к плоскости резки содержит напаянную режущую пластину в вертикальном по ширине и горизонтальном по длине положении. Четвертая сторона после передней поверхности с режущей пластиной имеет уступ с прямым желобом под углом  $45^\circ$  к основной плоскости для сопряжения с прихватом. Прихват имеет Г-образную нажимную часть под сопряжения с желобом режущего блока, ступенчатое отверстие под крепежный винт и резьбовое отверстие под дифференциальный винт.

Режущий блок с напаянной режущей пластиной вставляется на опору, закрепленную двумя винтами до уступа державки с соответствующими углами для того, чтобы контактные и рифленые поверхности режущего блока и державки совпали. После чего четвертая сторона совмещается с крепежным прихватом, дифференциальным винтом регулируют высоту прихвата и затягивают крепежным винтом. Сущность разработки определяется возможностью перестановки режущего блока после заточки с подъемом режущей кромки к основной плоскости за счет специальной опоры и рифленого сопряжения с державкой. Заточка режущего блока выполняется по передней и вспомогательной задней поверхностям алмазным кругом. Регулирование прихвата по высоте подъема режущего блока осуществляется с помощью дифференциального винта. В процессе работы реза жесткость крепления режущего блока усиливается действием составляющих силы резания. Высокая жесткость инструмента при точении труднообрабатываемых материалов способствует повышению его виброустойчивости, и, как следствие, качества обработанной поверхности изделий и уменьшению поломок режущих пластин. За счет возможности многократной переточки режущей пластины повышается ресурс инструмента.

Проходной резец, оснащенный блоком с пластинами из ПСТМ при точении автомобильных деталей, восстановленных напылением покрытиями твердостью HRC 50–60 из порошков ПГ-10-01, ПГСР-3, ПГСР-4 и проволоки Нп-65Г с последующим их оплавлением, стабильно обеспечивает заданную точность, шероховатость и не снижает твердость обработанной поверхности. Так, при обработке штоков подвески за счет повышения скорости резания до 1,6–2,0 м/с инструмента с технологической заточкой производительность возросла в 2–3 раза при стойкости режущей кромки 90–120 мин. Проверка разработанного инструмента показала надежное закрепление режущей пластины и хорошую работоспособность в эксплуатации.

Внедрение резцов из ПСТМ на финишных переходах позволяет получать обработанную поверхность с шероховатостью  $Ra$  0,63–1,25 и практически отказаться от шлифования. Инструмент специальной конструкции с режущим блоком обеспечивает шероховатость обработанной поверхности  $Ra$  0,25–0,32.

Для получения заданного качества поверхностного слоя восстановленных изделий и с целью устранения недостатков обработанной поверхности, связанные с вредным влиянием наследуемых технологических факторов от предшествующих операций обработки применяют алмазные ленты, лепестковые круги, щетки на основе полимерно-абразивных волокон, доводочные, полировальные и другие специальные эластичные инструменты.

Одной из особенностей обработки ЭИ является то, что в процессе работы они допускают упругое перемещение зерен абразива. Благодаря этому амортизируется удар при врезании зерен в металл, что дает возможность им относительно одинаково самоустанавливаться по высоте и более равномерно распределять между собой нагрузку. Кроме того, ЭИ позволяют в широких пределах изменять площадь контакта с деталью, что создает возможность управлять количеством режущих элементов в зоне резания, распределением тепловой и силовой нагрузок и формированием свойств поверхностного слоя обрабатываемых деталей.

Для обеспечения низкой шероховатости обработанной поверхности, высокой точности размеров, формы для съема больших припусков и зачистки фасонных деталей применяют алмазные ленты шлифовальные бесконечные (АЛШБ). Эти ленты изготавливают на каучуковых связках, а в качестве основы используют высококачественную лавсановую ткань. Контакт ленты с деталью обеспечивается за счет специальных опор (дисков, роликов, копиров) или же свободной ветвью инструмента. Шлифование с контактной опорой обеспечивает высокую точность обработки деталей сложной формы, имеющих неравномерные припуски. Однако эта обработка вызывает большую деформацию ленты и, как следствие, формирование шероховатости поверхности, большей по величине, чем при обработке без контактной опоры.

При обработке деталей вместо бесконечных лент применяют алмазные ленты полировальные (АЛП) со свободными тканевыми концами. Эти ленты состоят из тех же элементов, что и АЛШБ. Ленты АЛП

применяют для получения низкой шероховатости обработанной поверхности при небольшом съеме металла (припуск на обработку снимается в пределах исходной шероховатости) при виброконтактном полировании и суперфинишировании.

Полирование деталей с напыленным покрытием из высоколегированного сплава ХВС-3 лентами АЛШБ с характеристиками АС2 50/40 ВЗ-06-4 формирует поверхность с шероховатостью Ra 0,20–0,25. Производительность обработки (Q) 100–300 мм<sup>3</sup>/мин, удельный расход алмазных лент (q) — 6–12 мг/г. Применение при полировании лент с характеристиками АСМ 40/28-4 ВЗ-06 обеспечивает Ra 0,16–0,20, Q = 30–60 мм<sup>3</sup>/мин, q = 6–10 мг/г. После виброконтактного полирования лентами АЛП при оптимальных режимах Q = 100–180 мм<sup>3</sup>/мин, q = 16–25 мг/г формируется поверхность с Ra 0,12–0,16 и  $\sigma = - (100-150)$  МПа.

Из АЛП и других алмазных лент можно создавать специальные эластичные круги. При обработке этими кругами используется универсальное оборудование и существенно повышается производительность и качество обработки.

Перспективным эластичным инструментом для полирования покрытий являются круги, изготовленные на основе алмазных лент с прерывистой рабочей поверхностью на каучуковой связке. Прерывистый характер поверхности шлифовальной ленты АЛШЕ обеспечивает максимальное поступление СОТС среды в зону резания и наилучшие условия для отвода шлама. Обработка этим инструментом осуществляется при незначительных температурах, что исключает образование прижогов на обрабатываемых деталях и засаливание инструмента. При шлифовании покрытия из сплава ПГСП-4 инструментом с алмазами АС2 зернистостью 80/63 достигается шероховатость Ra 0,20, а при использовании алмазов АСМ зернистостью 40/28 – Ra 0,10. В отличие от алмазных бесконечных и конечных лент, инструментом на основе АЛШЕ можно производить размерную обработку цилиндрических и плоских деталей. Производительность обработки повышается до 400 мм<sup>3</sup>/мин. На финишных операциях шлифования относительный расход алмазов в инструменте составляет 3,5–5,0 мг/г, а при шлифовании без предварительной обработки относительный расход в зависимости от режимов шлифования достигает 15–20 мг/г снимаемого материала.

При финишной обработке деталей высокой эффективностью обладают лепестковые круги [10] из абразивной шкурки и алмазных шлифовальных лент (рис. 2).

Преимущество полирования таким кругом перед другими эластичными инструментами заключается в том, что прерывистый, импульсный характер резания и вентиляционный эффект, возникающий в зоне обработки, способствуют обновлению затупившихся абразивных зерен и быстрому удалению шлама. Высокая эластичность инструмента обеспечивает оптимальный контакт рабочей поверхности режущего элемента с деталью сложного профиля. Они не требуют правки, обладают способностью принимать профиль обрабатываемой поверхности в течение всего времени работы. При этом высокая режущая способность и износостойкость инструмента обеспечивает стабильное качество поверхностного слоя изделия. При полировании этими кругами деталей с покрытиями достигается шероховатость поверхности Ra 0,08–0,16, производительность процесса обработки в 1,3–1,5 раза выше, чем при использовании АЛШБ, а затраты на инструмент сокращаются на 30–40 %.

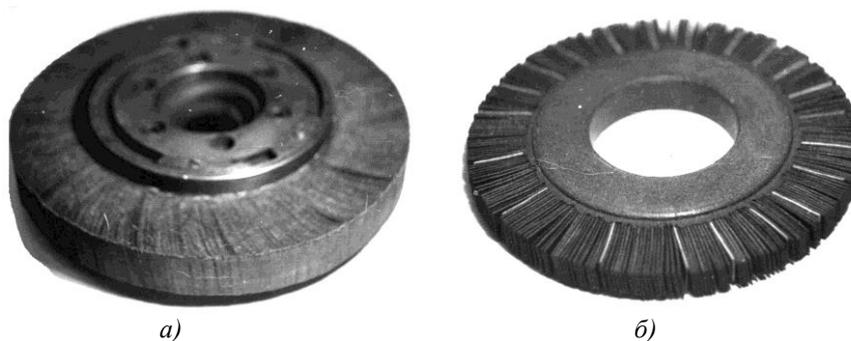


Рис. 2. Лепестковые круги из абразивной шкурки (а) и алмазных лент (б) для полирования покрытий

**Выводы.** В результате проведенных исследований финишной технологии обработки восстановленных деталей разработана сборная конструкция токарных резцов с пластинами из ПСТМ, обеспечивающих высокое качество обрабатываемой поверхности. Использование на финишных операциях ЭИ при обработке таких деталей позволяет устранить недостатки поверхности, связанные с вредным влиянием наследуемых технологических факторов.

## Список использованной литературы:

1. Технологическое обеспечение качества изготовления деталей с износостойкими покрытиями / С.П. Кулагин, С.Л. Леонов, Ю.К. Новоселов, Е.Ю. Татаркин. – Новосибирск : НСУ, 1993. – 209 с.
2. Обработка износостойких покрытий / под общ. ред. Ж.А. Мрочка. – Мн. : Дизайн ПРО, 1997. – 208 с.
3. Мельничук Ю.А. Технологические возможности лезвийного инструмента, оснащенного алмазно-керамическими пластинами / Ю.А. Мельничук, И.А. Петруша, А.С. Осипов // Технологи механической обработки материалов : сб. науч. тр. – К. : ИСМ НАНУ, 2006. – С. 51–55.
4. Харламов Ю.А. Обробка деталей при відновленні і зміцненні : навч. посібник / Ю.А. Харламов. – Луганськ : СНУ ім. Даля, 2007. – 500 с.
5. Обработка резанием деталей с покрытиями / под общ. ред. С.А. Клименко. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАНУ, 2011. – 353 с.
6. Сверхтвердые материалы. Получение и применение : в 6 т. / под общ. ред. Н.В. Новикова. – Т. 5 : Обработка материалов лезвийным инструментом / под ред. С.А. Клименко. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2006. – 316 с.
7. Алмазный инструмент на каучуковых связках и области его применения / С.С. Рабинович, Л.Ф. Макарова, Ю.А. Яковчук, В.Н. Бычихина // Инструментальный світ. – 2000. – № 7. – С. 25–28.
8. Технологія ремонту та відновлення (Фінішна алмазно-абразивна обробка еластичними інструментами у ремонтному виробництві) / С.А. Клименко, В.В. Бурикін, Л.Г. Полонський, В.Г. Сніцар. – Житомир : ЖДТУ, 2014. – 122 с.
9. Пат. № 95948. Прохідний збірний різець / Ю.Г. Кравченко, Ю.О. Мельнічук, В.В. Бурикін ; заявка № u201408634 від 30.07.14 ; опубл. 12.01.15 // Промислова власність. – 2015. – Бюл. № 1.
10. Коротков А.Н. Работоспособность лепестковых шлифовальных кругов / А.Н. Коротков. – Кемерово : КузГТУ, 2005. – 184 с.

## References:

1. Kulagin, S.P., Leonov, S.L., Novoselov, Ju.K. and Tatarkin, E.Ju. (1993), *Tehnologicheskoe obespechenie kachestva izgotovlenija detalej s iznosostojkimi pokrytijami*, NSU, Novosibirsk, 209 p.
2. Mrochek, Zh.A. (ed.) (1997), *Obrabotka iznosostojkih pokrytij*, Dizajn PRO, Minsk, 208 p.
3. Mel'nichuk, Ju.A., Petruscha, I.A. and Osipov, A.S. (2006), «Tehnologicheskie vozmozhnosti lezvijnogo instrumenta, osnashhennogoalmazno-keramicheskimi plastinami», *Tehnologijamehanicheskjoj obrabotki materialov*, sbornik nauchnyh trudov, ISM NANU, Kiev, pp. 51–55.
4. Harlamov, Ju.A. (2007), *Obrobka detalej pry vidnovlenni i zmichnenni*, SNU im. Dalja, Lugans'k, Kiev, 500 p.
5. Klimenko, S.A. (ed.) (2011), *Obrabotka rezaniem detalej s pokrytijami*, ISM im. V.N. Bakulja NANU, Kiev, 353 p.
6. Novikov, N.V. (ed.) (2006), *Sverhtverdye materialy. Poluchenie i primenenie*, in 6 volumes, Vol. 5 «Obrabotka materialov lezvijnym instrumentom», in Klimenko, S.A. (ed.), ISM im. V.N. Bakulja NAN Ukrainy, Kiev, 316 p.
7. Rabinovich, S.S., Makarova, L.F., Jakovchuk, Ju.A. and Bychihina, V.N. (2000), «Almaznyj instrument na kauchukovyh svyazkah i oblasti ego primenenija», *Instrumental'nyj svit*, No. 7, pp. 25–28.
8. Klymenko, S.A., Burykin, V.V., Polons'kyj, L.G. and Cnicar, V.G. (2014), *Tehnologija remontu ta vidnovlennja (Finishnaalmazno-abrazyvna obrobka elastychnymy instrumentamy u remontnomu vyrobnyctvi)*, ZhDTU, Zhytomyr, 122 p.
9. Kravchenko, Ju.G., Mel'nichuk, Ju.O. and Burykin, V.V. (2015), *Prohidnyj zbirnyj rizec'* [Passage assembled cutter], Pat. № 95948, *Promyslova vlasnist'*, Bjul. No. 1.
10. Korotkov, A.N. (2005), *Rabotosposobnost' lepestkovyh shlifoval'nyh krugov*, KuzGTU, Kemerovo, 184 p.

**Бурыкин Виталий Витальевич** – кандидат технических наук, научный сотрудник Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины.

Научные интересы:

- обработка материалов резанием;
- режущие инструменты для финишной обработки.

E-mail: atmu@meta.ua.

**Харламов Юрий Александрович** – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения и прикладной механики Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля.

Научные интересы:

- обработка материалов резанием;
- режущие инструменты для финишной обработки.

**Ночвай Владимир Матвеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики и компьютерно-интегрированных технологий Житомирского государственного технологического университета.

Научные интересы:

- газотермические покрытия;
- приборы и методы контроля и определения состава вещества.

Статья поступила в редакцию 02.10.2017.