

стины из твердого сплава Т5К10 с покрытием из TiN, имплантированные ионами ZrGf (20 % гафния). При этом не усложняется конструкция инструмента дополнительными элементами для дробления стружки.

### Литература

1. Васин С. А., Верещака А. С., Кушнер В. С. Резание металлов. Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании: Учебник для техн. вузов. – М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 448 с.
2. Брюхов В. В. Повышение стойкости инструмента методом ионной имплантации. – Томск: Изд-во НТЛ, 2003. – 120 с.
3. Ласуков А. А., Брюхов В. В., Зайцев К. В. Исследование влияния свойств поверхности инструмента на процесс стружкообразования // Современные проблемы машиностроения: Тр. II междунар. науч.-техн. конф. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – С. 482–484.
4. Петрушин С. И., Бобрович И. М., Корчуганова М. А. Оптимальное проектирование формы режущей части лезвийных инструментов: Учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 1999. – 92 с.
5. Утешев М. Х. Разработка научных основ расчета прочности режущей части инструмента по контактным напряжениям с целью повышения его работоспособности: Дис. д-ра техн. наук: 05.03.01, 01.02.06. – Томск, 1995. – 663 с.
6. Артамонов Е. В. Прочность и работоспособность сменных твердосплавных пластин сборных режущих инструментов. – Тюмень: Вектор Бук, 2003. – 190 с.
7. Dziejek Bruno. Fortschritte in der Zerspanungstechnik durch mehrlagige Hartmetallbeschichtung // Technisches Zentralblatt für praktische Metallbearbeitung. – 1974. – 68, № 6. – S. 199–200.

Поступила 20.05.09

УДК 621.762.4.045: 621.921.34: 621.73

**О. А. Розенберг**, д-р техн. наук, проф., **С. Е. Шейкин**, д-р техн. наук, **А. А. Шульженко**, член-корр. НАН Украины, **А. А. Шепелев**, д-р техн. наук, **В. Г. Гаргин**, канд. техн. наук, **И. Ю. Ростоцкий**, **Д. В. Ефросинин**, **Н. А. Русинова**

*Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев*

### ИНСТРУМЕНТ ИЗ АКТМ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ОБКАТЫВАНИЕМ

*The new technology of preparation of blank from a diamond composite heat-resistant material (AKTM) in the form of a sphere is described. Results of tests of working element of rolling device from AKTM at machining of titanic alloy BT1-0 are presented. Dependence of a roughness of a machined surface on technological modes rolling is investigated. It is established, that the resistance of wear of a deforming element from AKTM at least 10 times more the steel.*

Обработка методами холодного поверхностного пластического деформирования (ХППД) позволяет получить комплекс свойств, существенно повышающих эксплуатационные характеристики деталей машин.

Однако применение методов ХППД, в которых преобладает трение скольжения (выглаживание, деформирующее протягивание), для обработки деталей из титановых сплавов невозможно без дополнительной модификации поверхности вследствие повышенной склонности титана к схватыванию с большинством инструментальных материалов и отсутствия технологических смазок [1]. Обработка деталей из титановых сплавов возможна такими методами ХППД, в которых преобладает трение качения, например обкатыванием [2; 3]. В этом случае применение в качестве технологической смазки масла «Индустриальное-20» обеспечивает нормальное протекание процесса обкатывания.

Ряд исследователей [2; 3] для обработки деталей из титановых сплавов обкатыванием использовали шары и ролики из закаленной стали. Однако, как показали результаты проведенных в ИСМ НАН Украины испытаний, после прохождения 2 км по обрабатываемой поверхности детали из сплава ВТ 1-0 при нагрузке  $P_y = 400$  Н, скорости  $V = 4,5$  м/мин и подаче  $S = 0,14$  мм/об. на поверхности шара  $\varnothing 5$  мм из ШХ15 появляются очаги разрушения (рис. 1).

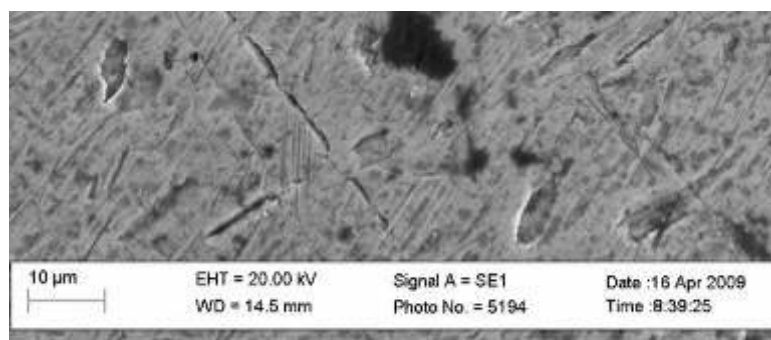


Рис. 1. Очаги разрушения на поверхности стального шара

Очаги разрушения приводят к увеличению шероховатости обрабатываемой поверхности и могут явиться причиной брака при обработке длинномерных изделий. Вследствие этого разработка инструментов для ХППД деталей из титановых сплавов из новых сверхтвердых материалов (СТМ) своевременна и актуальна.

В основу исследований, направленных на создание инструмента в виде шара из СТМ, положено совершенствование способа изготовления изделий из композиционного материала на основе алмаза. Для этого используют формовку, состоящую из двух частей в виде полусфер: формирующей и пропитывающе-формирующей. Выравнивание усадки частей формовки достигается добавлением в смесь соединений, температура плавления которых превышает температуру плавления кремния, тем самым обеспечивается возможность получения изделия в виде шара [4].

При этом формирующую часть изготавливают из смеси, которая содержит графит, тугоплавкую составляющую из металлов и/или их сплавов и/или соединений, температура плавления которых превышает температуру плавления кремния. Пропитывающе-формирующую часть изготавливают из смеси, содержащей кремний, графит и тугоплавкую составляющую из металлов и/или их сплавов и/или соединений, температура плавления которых превышает температуру плавления кремния. При формировании указанных частей используют тугоплавкую составляющую, содержащую 50–60 % массы смеси. При формировании частей формовки используют тугоплавкую составляющую в виде порошка из частиц размером 20–100 мкм.

Благодаря добавлению составляющих с большим модулем объемного сжатия, чем для чешуйчатого графита, можно существенно уменьшить отклонения формы заготовки и получить изделие в виде шара. Одной из таких составляющих является карбид кремния SiC, модуль объемного сжатия которого равен 363 ГПа, в то время как модуль объемного сжатия чешуйчатого графита почти в 12 раз ниже (29,8 ГПа).

Для снижения трудоемкости последующей механической обработки поверхности изделия размер вводимых частиц порошка должен составлять 20-100 мкм.

Смесь для получения формирующей части, содержащую 55 мас. % тугоплавкой составляющей с частицами размером 40 мкм и 45 мас. % чешуйчатого графита, засыпали в шаровую мельницу и смешивали в течение 30 мин. Далее из полученной смеси в прессформе изготавливали формирующую часть в виде полусферы.

Аналогично изготавливали пропитывающе-формирующую часть. Смесь для нее (55 мас. % тугоплавкой составляющей – карбид кремния SiC с частицами размером 40 мкм, 17 мас. % чешуйчатого графита, 19 мас. % порошка кремния с частицами размером 40 мкм и 9 мас. % алмазного нанопорошка с частицами размером 0,002-0,01 мкм) засыпали в шаровую мельницу и смешивали в течение 30 мин. Далее прессовали пропитывающе-формирующую часть в виде полусферы.

На сформированные формирующую и пропитывающе-формирующую части в виде полусфер засыпали алмазную массу. Далее сформированные полусферы из алмазной массы соединяли, размещали и спекали в ячейке аппарата высокого давления.

Полученные образцы испытывали на прочность на разрывной машине усилием до 10 кН при одноосном статическом сжатии. Средняя разрушающая нагрузка на сферическую заготовку составила 25 кН.

Структуру образцов композиционного материала изучали с помощью растрового электронного микроскопа ULNRASS (Zeiss) и электродисперсного анализатора рентгеновских спектров JNCA-Sight (Oxford instruments).

Микроструктура шлифа полученного композиционного материала показана на рис. 2.

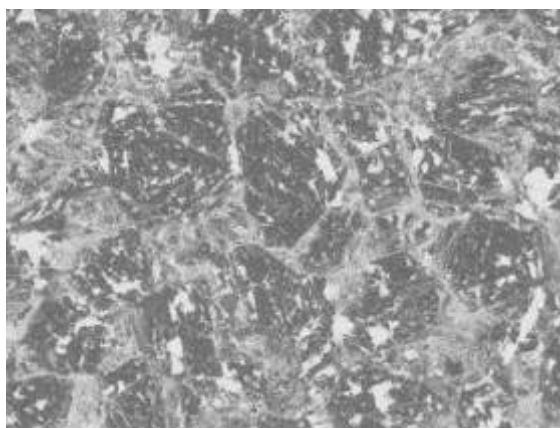


Рис. 2. Микроструктура шлифа изготовленного композиционного материала

Результаты анализа показывают, что материал имеет однородное распределение частиц алмаза и образованной SiC-фазы. Фактически между всеми частицами алмаза различных размеров имеются прослойки связующей фазы.

После спекания сферические заготовки подвергали алмазному шлифованию по технологии, разработанной в ИСМ НАН Украины [5; 6], шлифовальными кругами, доводочными инструментами со сложнопрофильными функциональными поверхностями W-образной формы и алмазными композитами из СТМ. Конструкция инструментов позволяет получить равномерную сетку на поверхности обрабатываемого изделия и высокую точность обработки.

Шероховатость поверхности после обработки составила  $R_z = 1,5-1,7$  мкм. Далее рабочую поверхность заготовки притирали на чугунном притире алмазными пастами последовательно 3/2, 1/0, 0,5/0. После притирки пастой 1/0 шероховатость поверхности изделия составила  $R_z = 1-1,5$  мкм, после притирки пастой 0,5/0 –  $R_z = 0,5-0,8$  мкм.

Фотография полученного сферического изделия из АКТМ изображена на рис. 3.

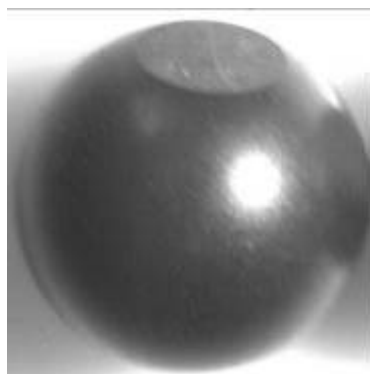


Рис. 3. Сферическое изделие из АКТМ

Испытания рабочего элемента из АКТМ в виде шара  $\varnothing 5$  мм производили при обкатывании детали из ВТ 1-0 (НВ 160) упругим обкатником на токарном станке 1К62 со скоростью  $V=4,5$  м/мин при различных технологических режимах. Предварительно деталь из ВТ 1-0 обточили до шероховатости  $Ra=7$  мкм.

Изменения значений шероховатости обработанной поверхности детали в полулогарифмических координатах показаны на рис. 4.

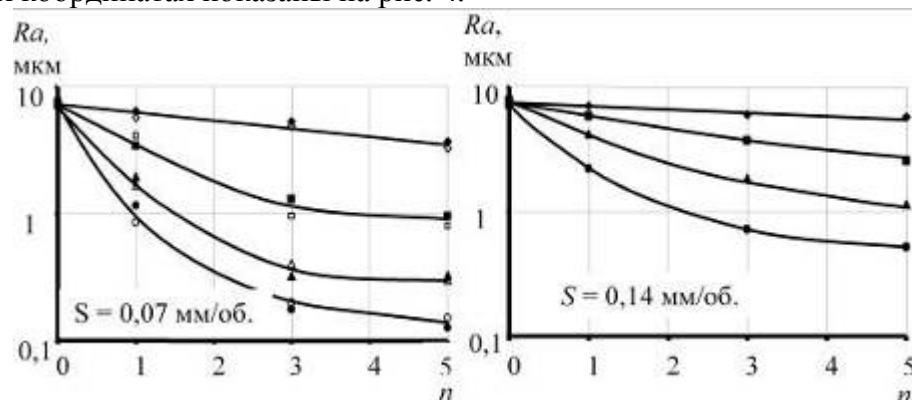


Рис. 4. Зависимости шероховатости обработанной поверхности от количества проходов при различных технологических режимах:

- ◆ –  $P_y=50$  Н; ■ –  $P_y=100$  Н; ▲ –  $P_y=150$  Н; ● –  $P_y=200$  Н при шероховатости поверхности рабочего элемента  $Rz=1-1,5$  мкм;
- ◇ –  $P_y=50$  Н; □ –  $P_y=100$  Н; △ –  $P_y=150$  Н; ○ –  $P_y=200$  Н при шероховатости рабочего элемента  $Rz=0,5-0,8$  мкм

Как видим, минимальная шероховатость обрабатываемой поверхности как при подаче  $S = 0,07$  мм/об., так и при подаче  $S = 0,14$  мм/об. достигается после пятого прохода. Далее с увеличением количества проходов значение  $Ra$  практически не изменяется. При  $S = 0,07$  мм/об. минимальное значение  $Ra$  составило  $0,15$  мкм.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что изменение шероховатости поверхности деформирующего элемента в пределах  $Rz=0,5-1,5$  мкм на шероховатость обработанной поверхности практически не влияет. Качественный характер зависимостей, показанных на рис. 4, и зависимостей, полученных при использовании деформирующих инструментов из закаленной стали [3], одинаков.

Результаты испытаний на стойкость полученного инструмента, проведенные при обкатывании детали из сплава ВТ1-0 по тем же технологическим режимам, что и стального шара, показали отсутствие износа или разрушения на рабочей поверхности деформирующего инструмента после прохождения 10 км (рис. 5).

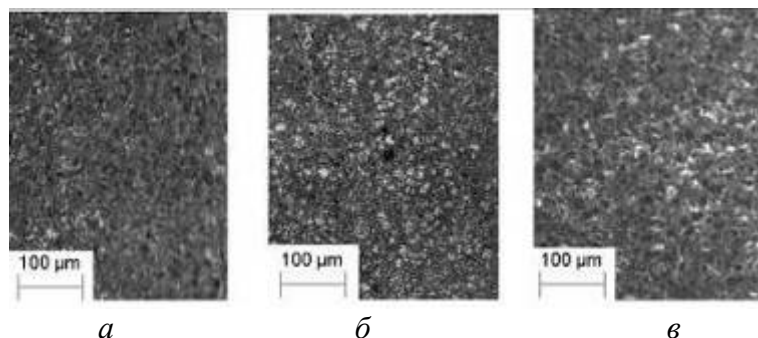


Рис. 5. Поверхности инструмента из АКТМ: а – исходная; б – после прохождения инструментом 5 км; в – после прохождения инструментом 10 км

Кроме того, учитывая, что нагрузки на деформирующий элемент обкатника в реальном процессе обработки на порядок меньше нагрузок, при которых шары из АКТМ разрушаются, можно предположить, что их применение открывает путь к созданию инструмента, способного обеспечить необходимое качество обработки в течение длительного времени и существенно снизить вероятность появления брака.

### Выводы

1. Разработанный способ применим для изготовления заготовок из АКТМ в виде шаров с незначительными погрешностями формы, что позволило впервые в мировой практике применить данный материал для изготовления рабочих элементов обкатников.
2. Использование деформирующих элементов в виде шара из АКТМ при обкатывании титанового сплава ВТ1-0 позволяет получить шероховатость обрабатываемой поверхности до  $Rz=0,15$  мкм.
3. Качественный характер зависимостей шероховатости обработанной поверхности от технологических режимов при использовании деформирующих элементов из закаленной стали и АКТМ одинаков.
4. Стойкость рабочего элемента из АКТМ при обкатывании титановых сплавов в несколько раз превышает стойкость рабочего элемента из ШХ15. Окончательную оценку стойкости инструмента из АКТМ необходимо произвести в условиях реального производства.

### Литература

1. Повышение несущей способности деталей машин поверхностным упрочнением / Л. А. Хворостухин, С. В. Шишкин, И. П. Ковалев, Р. А. Ишмакову. – М.: Машиностроение, 1988. – 144 с.
2. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с.
3. Горохов В. А. Чистовая обработка титановых сплавов. – М.: Машиностроение, 1975. – 110 с.
4. Пат. 36041, МПК (2009) с22с 26/00. Спосіб виготовлення виробів з композиційного матеріалу на основі алмазу / О. О. Шульженко, О. О. Розенберг, В. Г. Гаргін, Н. О. Русина. U 2008 06406; Заяв. 14.05.08; Бюл. № 7.
5. Новая технология производства керамических шаров для специального целевого применения в агрессивных средах. Ч. 1. Проект «EUREKA EU4156-GERBALL» / Н. В. Новиков, А. А. Шепелев, Л. П. Стафеецкий, В. И. Румянцев // Инструмент. світ.– 2008. – № 2 – 3 (38 – 39). – с. 48-50.
6. Новая технология производства керамических шаров для специального целевого применения в агрессивных средах. Ч. 2. Разработка процесса алмазной обработки керамических шаров / А. А. Шепелев, В. Г. Сороченко, А. А. Шепелев (мл.) и др. // Инструмент. світ. – 2008. – № 4 (40). – с. 8 – 12.

Поступила 15.05.09