
Р а з д е л Ш

ПАЙКА. АДГЕЗИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ. АДГЕЗИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

УДК 539.621

А. А. Адамовский, В. М. Емцов, В. Т. Варченко *

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПЛОТНЫХ МОДИФИКАЦИЙ НИТРИДА БОРА

Разработана методика испытаний на трение и износ сверхтвердых материалов на основе плотных модификаций нитрида бора (СТМ) в паре СТМ—СТМ и СТМ—твердые сплавы, содержащие карбид вольфрама. Высокомодульные материалы испытаны в воздушной среде без подачи смазки в зону трения. Предложены конструкции узлов трения для испытания по схемам: пальчиковый образец—ролик, вкладыш—ролик и торцевое трение кольцевых образцов. Образцы СТМ закрепляют в державках адгезионно-активными припоями в вакууме. Методика проверена на практике.

Ключевые слова: сверхтвердые материалы, пара трения, коэффициент трения, износ, температура, зона контакта.

Введение

В новых конструкциях машин различного назначения рабочие параметры узлов трения постоянно повышают. Для удовлетворения растущих нужд машиностроения разработан ряд новых материалов, превосходящих по механическим характеристикам металлы и сплавы на их основе. Это новые высокомодульные сверхтвердые материалы на основе плотных модификаций нитрида бора (СТМ) и твердые сплавы, содержащие карбид вольфрама. Поэтому предпринимаются попытки использовать в конструкциях узлов трения высокомодульные материалы с повышенными прочностными характеристиками. Однако данные о триботехнических характеристиках новых материалов в технической литературе отсутству-

* А. А. Адамовский — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины; В. М. Емцов — младший научный сотрудник, там же; В. Т. Варченко — научный сотрудник, там же.

© А. А. Адамовский, В. М. Емцов, В. Т. Варченко, 2009

ют. В связи с тем, что СТМ изготавливают небольших размеров ($\varnothing 3$ —8 мм), для их закрепления при приложении сверхвысоких нагрузок и испытании с целью определения триботехнических характеристик в процессе их апробации необходим особый подход. Это вызвано тем, что эти материалы обладают большей хрупкостью по сравнению с металлами и сплавами на их основе. Для испытания таких материалов нами выбраны схемы узлов трения: колодка—ролик и торец—торец. Необходимо испытать пары трения СТМ—СТМ и СТМ—твердые сплавы при различном соотношении контактных материалов.

Цель работы — разработать методику оценки триботехнических характеристик высококомодульных материалов на основе плотных модификаций нитрида бора в контактах одноименных пар и с твердыми сплавами на основе карбида вольфрама.

Схема испытания ролик (контртело)—колодка (образец)

Перед проведением испытаний на трение и износ поверхности сверхтвердых материалов на основе плотных модификаций нитрида бора — колодка в паре с твердыми сплавами на основе карбида вольфрама группы ВК, ТК — ролик необходимо подготовить.

В качестве контртела выбран ролик $\varnothing 40 \times 16 \times 10$ мм из твердых сплавов марок ВК6, ВК15, Т15К6. Ролики, спеченные по стандартным режимам, обрабатывали на станках алмазными кругами. Непараллельность торцов ролика — не более 0,01 мм; посадочное отверстие ролика — $\varnothing 16H7$, шероховатость поверхности отверстия $R_a = 0,5$ мкм. Перед испытаниями на износ рабочую поверхность ролика шлифуют и доводят. Шлифовали поверхность ролика $\varnothing 40$ мм на круглошлифовальном станке модели ЗБ12 алмазным кругом прямого профиля 1А1 300x127x20x5 АС6 100/80 4 БСТК до шероховатости поверхности $R_a = 0,8$ мкм. В зону шлифования подавали смазочно-охлаждающую жидкость (СОЖ) — 5%-ный раствор соды в воде. Доводили поверхность ролика алмазными кругами на эластичной бакелито-эпоксидной связке марки ЭЗ на универсально-заточном станке модели ЗВ642. Станок оснащен приспособлением для наружного круглого шлифования, неподвижным центром, системой подачи в зону доводки СОЖ. Ролики доводили по схеме торцевого шлифования. Круг (рис. 1) закрепляли в оправке шпинделя станка, ролик устанавливали в оправку и закрепляли через шайбу гайкой. Оправку фиксировали в центрах и приводили её во вращательное движение от приспособления (на рис. 1 не показано) станка для круглого наружного шлифования. Продольную подачу ролика вдоль его оси вместе с оправкой осуществляли вручную. Дискретную точную поперечную подачу ролика на круг выполняли рукоятками управления станка. Шероховатость поверхности ролика твердого сплава доводили до $R_a = 0,08$ мкм.

Исследовали износостойкость композиционных СТМ на основе плотных модификаций нитрида бора: композита 01 (эльбор-Р), композита 05-ИТ, композита 10 (гексанит-Р). СТМ закрепляли вакуумной пайкой в стальные державки припоем на основе меди [1] по методике и на

оборудовании, описанных в работе [2]. Перед пайкой в стальных державках выполняли отверстия, обеспечив зазор 0,1 мм между поликристаллом СТМ и отверстием в стальной державке. После пайки рабочую поверхность поликристаллов СТМ (торец) шлифовали алмазными кругами 1А1 250x76x10x3 АС6 100/80 4 БСТК и 1А1 250x76x10x3 АСМ 40/28 4 БСТК на плоскошлифовальном станке модели 3Е711В с последующим выхаживанием 10—15 проходов. В зону шлифования подавали СОЖ. Поверхность СТМ доводили на заточном станке модели 3В642 алмазным кругом 12А2-45° 150x10x3 АСМ 14/10 4 БР.

Для испытаний нами выбрана схема (рис. 2) колодка (торец пальчикового образца)—ролик (контртело), то есть вытирание твердосплавным роликом лунки на плоской поверхности образца из СТМ. Достоинство этой схемы — очень точное определение величины износа и

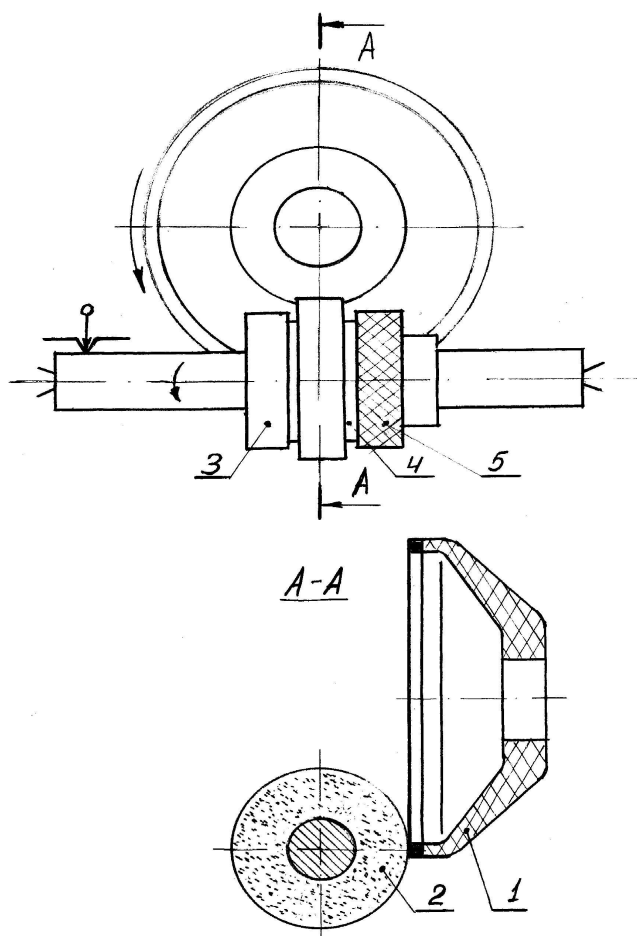


Рис. 1. Схема доводки ролика торцом круга на станке модели 3В642: 1 — алмазный круг 12А2-45° 80x20x3x3 АСМ 28/20 4 ЭЗ; 2 — ролик твердого сплава; 3 — оправка; 4 — шайба; 5 — гайка

Fig. 1. Scheme of polishing of roller by the face of diamond wheel on the machine-tool of model. 3В642: 1 — diamond wheel 12А2-45° 80x20x3x3 АСМ 28/20 4 ЭЗ; 2 — roller of carboloy; 3 — mandrel; 4 — disk; 5 — nut

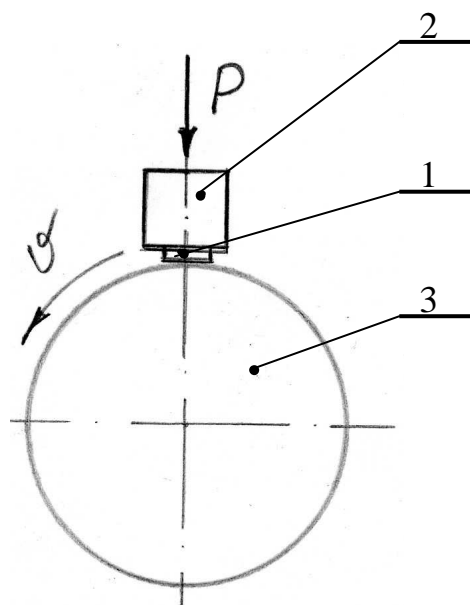


Рис. 2. Схема испытания пар трения колодка (образец)—ролик (контртело): 1 — пальчиковый образец; 2 — стальная державка; 3 — ролик

Fig. 2. Scheme of test of friction pair a pad (sample)—roller (rider): 1 — finger sample; 2 — steel holder; 3 — roller

возможность испытать материалы при сверхвысоких давлениях в зоне трения. Номинальная удельная нагрузка на поверхности трения в каждый момент времени будет равна [3]

$$q = \frac{P}{dl}, \quad (1)$$

где P — нагрузка на образец; d — диаметр образца, торец которого контактирует с контртелом; l — длина хорды лунки, вытертой контртелом в образце.

Из анализа формулы (1) следует, что номинальное удельное давление падает при увеличении длины хорды лунки, нагрузка на образец постоянная. Следовательно, интенсивность изнашивания в начальный момент будет самая высокая, поскольку нагрузка P постоянная, а длина хорды в процессе износа образца возрастает. По мере увеличения времени испытания длина хорды вытертой лунки и площадь зоны контакта возрастают, интенсивность изнашивания уменьшается. Экспертная оценка, проведенная по результатам предварительных испытаний, показала, что удельное давление в зоне эльбор-Р—твердый сплав марки ВК6 составляет 2000—2900 МПа.

Для испытания пары трения при постоянной нагрузке торец поверхности образца СТМ должен прилегать в зоне контакта к ролику. Образец СТМ предварительно притирали алмазным кругом, диаметр которого равен диаметру ролика. На оправку станка $\varnothing 20\text{h}6$ через переходную втулку $\varnothing 20\text{H}6/16\text{h}6$ и штатные приспособления закрепляли алмазный круг 1А1 40x16x10 (рис. 3, поз. 1). Торец образцов СТМ притирали алмазным кругом на металлической связке марки МС6. В зону резания для улучшения условий обработки подавали струю СОЖ. Притирку проводили до момента полного прилегания торцевой поверхности образца СТМ к периферии поверхности алмазного притирочного круга. Контроль качества поверхности осуществляли визуально. Дефекты, поры, раковины, сколы, микротрещины на притертой поверхности не допускаются. Окончательную притирку поверхности

Рис. 3. Схема профилирования СТМ по $R = 20$ мм на станке модели 3В642: 1 — алмазный круг 1А1 40х16х10х3 АС15 80/63 4 МС6; 2 — образец СТМ, закрепленный вакуумной пайкой в стальной державке

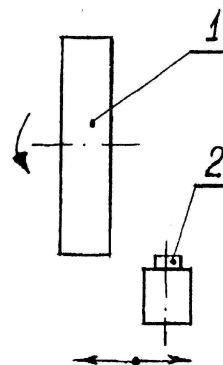


Fig. 3. Scheme of profiling of STM on $R = 20$ mm on the machine tool of model 3В642: 1 — diamond wheel 1А1 40х16х10х3 АС15 80/63 4 МС6; 2 — sample of STM, fixed by a vacuum soldering in steel holder

образца СТМ к ролику перед испытанием материалов пар трения выполняли на машине трения М-22м.

Инструмент для доводки и доведенные образцы СТМ, впаянные в стальные державки, а также твердосплавный ролик представлены на рис. 4. Шероховатость доведенных поверхностей оценивали на интерференционных и ощупывающих приборах. Замеры проводили многократно — минимум 5—6 замеров и данные обрабатывали методами математической статистики. Получены следующие результаты: шероховатость R_a (мкм) рабочей поверхности периферии роликов из ВК6 составила 0,109; ВК15 — 0,520; Т15К6 — 1,27. Шероховатость доведенной рабочей поверхности образцов из СТМ следующая: композита 01 (эльбора-Р) — 0,011 мкм; композита 10 (гексанита-Р) — 0,056 мкм; композита 05-ИТ — 0,090 мкм. Экспертная оценка показала, что чем тверже материал, тем шероховатость его доведенной поверхности меньше.

Испытания материалов пар трения осуществляли при нагрузке 100 Н на машине, оснащенной узлом трения модели М-22м, который разработан в ИПМ им. И. Н. Францевича НАНУ [4]. Узел трения во время испытания измеряет и записывает силу трения, линейный износ образца и контртела, а также температуру в зоне контакта. Точность измерения силы трения — 5%. Линейный износ образца и контртела фиксировали индуктивными датчиками БВ-884, чувствительность которых равна 0,01 мкм [5]. Температуру узла трения измеряли на расстоянии 0,3 мм от трущихся поверхностей [6] хромель-копелевой термопарой ТХКП-ХVIII (ГОСТ 5.1621-72). В качестве регистрирующего прибора использовали потенциометр ПП-63 (ГОСТ 9245-68).

Для проведения испытания по схеме торец—торец пар трения СТМ—СТМ и СТМ—твердый сплав разработан узел трения, который допускает нагрузку до 1000 Н. Конструкция такого узла трения представлена на рис. 5. Узел трения состоит из корпуса, включающего нижнюю 1 и верхнюю 2 части. Нижнюю часть корпуса закрепляют на столе вертикально-сверлильного станка модели 2А135, а верхнюю приводят во вращательное движение от шпинделя станка. Корпус сопрягают со штифтами 3 (по два штифта в каждую часть) по неподвижной посадке. Штифт 4 сопрягают с нижней частью корпуса по неподвижной посадке, а с верхней частью корпуса — по ходовой посадке. В двух одинаковых обоймах 5 закрепляют вакуумной пайкой

поликристаллы 6 СТМ по 6 штук в каждой обойме. Штифты 3, запрессованные в корпус, удерживают обойму от проворачивания, а запрессованные в корпус 2 — при вращении шпинделя станка проворачивают верхнюю обойму с образцами относительно нижней обоймы. Обойма для крепления образцов может быть различной конструкции: независимое расположение образцов СТМ в отдельных отверстиях и расположение образцов СТМ вплотную друг к другу в кольцевой канавке обоймы. Каждый метод крепления образцов имеет свои преимущества и недостатки. Для фиксации триботехнических характеристик при испытании материалов использовали методику и аппаратуру, которой оснащен узел трения М-22м [4].

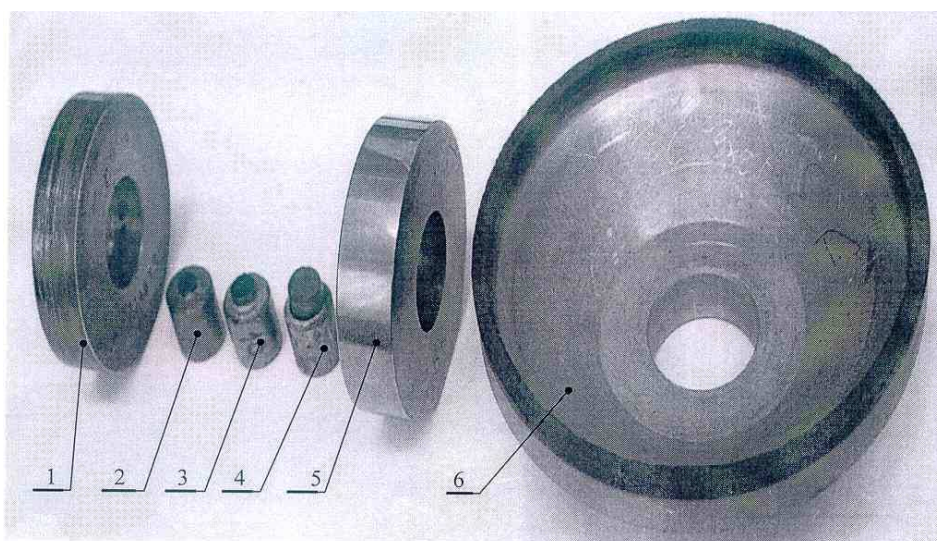


Рис. 4. Фотография натуральных инструментов и доведенных образцов:

- 1 — алмазный круг 1А1 40x16x10x3 АС15 80/63 4 МС6;
- 2 — композит 01 \varnothing 4x4 мм, запаянный в стальной оправе \varnothing 10 мм, $h = 10$ мм;
- 3 — композит 10 \varnothing 5x5 мм, запаянный в стальной оправе \varnothing 10 мм, $h = 10$ мм;
- 4 — композит 05-ИТ \varnothing 6,75x5 мм, запаянный в стальной оправе \varnothing 10 мм, $h = 10$ мм;
- 5 — ролик из твердого сплава \varnothing 40x16x10 мм;
- 6 — алмазный круг 12А2-45° 80x20x3x3 АСМ 28/20 4 ЭЗ

Fig. 4. Photo of a model instruments and a samples:

- 1 — diamond wheel 1А1 40x16x10x3 АС15 80/63 4 МС6;
- 2 — composite material 01 \varnothing 4x4 mm solder in a steel holder \varnothing 10 mm, $h = 10$ mm;
- 3 — composite material 10 \varnothing 5x5 mm solder in a steel holder \varnothing 10 mm, $h = 10$ mm;
- 4 — composite material 05-ИТ \varnothing 6,75x5 mm solder in a steel holder \varnothing 10 mm, $h = 10$ mm;
- 5 — carboloy roller \varnothing 40x16x10 mm;
- 6 — diamond wheel 12А2-45° 80x20x3x3 АСМ 28/20 4 ЭЗ

По разработанной методике измеряли температуру узла трения СТМ—твердый сплав при нагрузке 100 Н и скоростях скольжения 1, 3 и 6 м/с. Установлено (рис. 6), что с повышением скорости скольжения температура возрастает для всех исследованных пар трения. СТМ по уменьшению температуры в зоне контакта располагаются в следующей последовательности: композиты 01 → 05-ИТ → 10. Как показали исследования, несмотря на сверхвысокие нагрузки (100 Н) в зоне контакта, температуры в зоне трения невысокие — 130—305 °С. При таких температурах узлы трения могут работать длительное время, то есть пары трения СТМ—твердый сплав работоспособны на воздухе без смазки неограниченно длительное время. Исследования показали, что зона контакта СТМ—твердый сплав не повреждена: поверхность твердосплавных роликов после трения местами покрыта темными пятнами — видимо, это пленки оксидов кобальта, а поверхность СТМ после трения гладкая и блестящая.

Рис. 5. Узел трения однородных материалов СТМ—СТМ по схеме торец—торец: 1, 2 — корпус; 3 — штифт; 4 — ось; 5 — обойма; 6 — СТМ

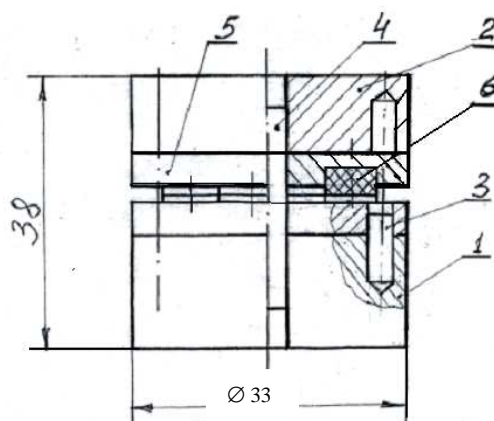


Fig. 5. Friction unit of similar materials СТМ—СТМ on the chart of friction face—face: 1, 2 — corps; 3 — pin; 4 — axe; 5 — holder; 6 — СТМ

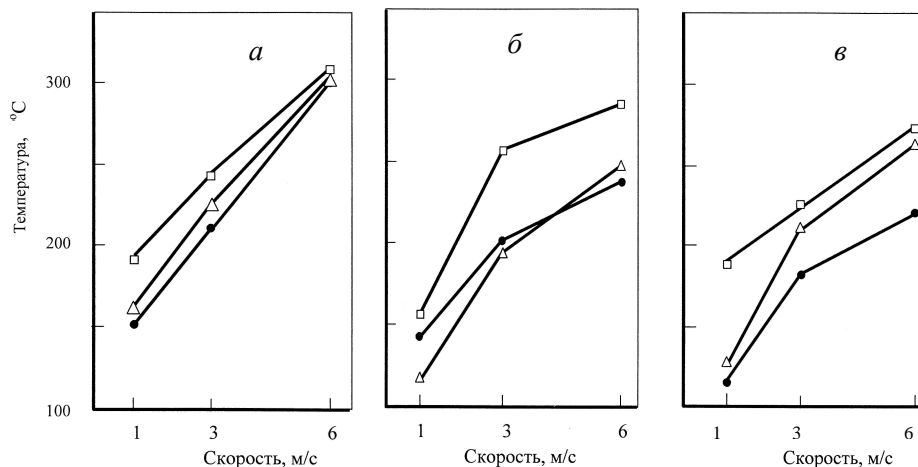


Рис. 6. Влияние скорости скольжения на температуру в зоне трения эльбора-Р (а), композита 05-ИТ (б), гексаниа-Р (в) по твердому сплаву марки: ВК6 (●), ВК15 (Δ), Т15К6 (□) при нагрузке 100 Н

Fig. 6. Influence of sliding speed on a temperature in the area of friction of borazon-P (a), composite material 05-ИТ (б), geksanit-P (в), on a carbonyl: ВК6 (●), ВК15 (Δ), Т15К6 (□) at load 100 Н

Выводы

Разработана методика оценки триботехнических характеристик сверхтвердых материалов в контакте с высокомодульными материалами — твердыми сплавами на основе карбида вольфрама.

На примере схемы испытаний колодка—ролик продемонстрирована высокая работоспособность узла трения, к которому были приложены в процессе испытания сверхвысокие нагрузки 100 Н.

Замер температур узла трения СТМ—твердый сплав показал, что максимальная температура не превышает 305 °С.

РЕЗЮМЕ: Розроблено методику випробувань на тертя і знос надтвердих матеріалів на основі щільних модифікацій нітриду бору (НТМ) в парі НТМ—НТМ і НТМ—тверді сплави, що містять карбід вольфраму. Високomodульні матеріали випробувані у повітряному середовищі без подачі мастила в зону тертя. Запропоновано конструкції вузлів тертя для випробування по схемах: пальчиковий зразок—ролик, вкладиш—ролик і торцеве тертя кільцевих зразків. Зразки НТМ закріплюють в державках адгезійно-активними припоями у вакуумі. Методика перевірена на практиці.

Ключові слова: надтверді матеріали, пара тертя, коефіцієнт тертя, знос, температура, зона контакту.

1. А. с. №536905 SU. Способ пайки твердосплавных материалов / Ю. В. Найдич, Г. А. Колесниченко, Б. Д. Костюк и др. // БИ. — 1976. — № 44.
2. Поверхностные свойства расплавов и твердых тел и их использование в материаловедении / Под ред. Ю. В. Найдича. — К.: Наук думка, 1991. — 280с.
3. Хрущов М. М. и Бабичев М. А. Исследование изнашивания металлов. — М.: АН СССР, 1960. — 351 с.
4. Колесниченко Л. Ф., Полотай В. В., Заболотный Л. В. и др. Методика комплексного изучения трения и износа металлокерамических материалов // Порошковая металлургия. — 1970. — № 3. — С. 61—66.
5. Зозуля В. Д., Дарсадзе А. Р., Варченко В. Т., Приходько В. Г. К определению износа валов индуктивными датчиками // Завод лаборатория. — 1991. — № 6. — С. 55—56.
6. Ткаченко Ю. Г., Варченко В. Т., Бритун В. Ф., Юрченко Д. З. Влияние состава и структуры керамики $V_4C-Al_2O_3$ на триботехнические характеристики при трении по стали // Порошковая металлургия. — 2005. — № 5/6. — С. 49—59.

Поступила 10.08.09

Adamovskiy A. A., Emcov V. M., Varchenko V. T.

Method of research of tribotechnical characteristics of superhard materials on the basis of dense modifications of boron nitride

The method of tests on a friction and wear of superhard materials on the basis of dense modifications of boron nitride (STM) in the pair of STM—STM and STM hard alloys, containing the carbide of tungsten is developed. High-modulus materials test in an air environment without the serve of greasing in the area of friction. The constructions of tribological unit for a test on scheme: a finger sample—a roller, inset—a roller and butt—end friction of circular samples are offered. The samples of STM fix in holder by adhesiveactiv solders in a vacuum. A method is tested in practice.

Keywords: ultra-hard material, friction pair, friction coefficient, wear, temperature, contact zone.