

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НИТРИДОТИТАНОВОГО ПОКРЫТИЯ НА МЕТАЛЛАХ

М.В. Новоселова, М.П. Вильмс

Нитридотитановые покрытия широко используются в технике для повышения износостойкости и твердости изделий. Целью работы является определение триботехнических характеристик (коэффициента трения, удельной сдвиговой прочности, пьезокоэффициента, твердости) нитридотитановых покрытий и их сравнение в зависимости от материала индентора и материала подложки.

Были исследованы полированные поверхности нитридотитанового покрытия на образцах из стали и титана в контакте со сферическими инденторами из материалов: циркония *Zr*; стали; золота *Au*; оксида алюминия Al_2O_3 (корунда). Применение индентора из *Zr* и *Au* с устойчивым состоянием поверхности (практически не окисляются) обеспечивает воспроизводимость условий эксперимента. Корунд обладает высокой твердостью.

Для определения триботехнических характеристик использовали микротрибометр [1]. Конструкция микротрибометра позволяет проводить измерения коэффициента трения по схеме шар – плоскость: индентор сферической формы с малым радиусом закругления контактирует с плоским образцом. Радиус кривизны инденторов из *Zr*, стали и *Au* составляет 0,5 мм, корунда – 0,05 мм.

Коэффициент трения определяли при нормальных нагрузках на индентор от 0,5 до 6 мН, создаваемых разновесами массой от 50 до 600 мг. Измерение при одной нагрузке повторяли 20 раз. Для исследованных пар трения значения контактных нагрузок соответствовали упругим контактам [2].

При упругом контакте сферического индентора с плоским образцом зависимость коэффициента трения f от нормальной нагрузки на индентор N имеет вид [2]

$$f = 2,6 \left(\frac{R}{E^*} \right)^{2/3} \tau_0 N^{-1/3} + \beta, \quad (1)$$

где R – радиус кривизны индентора; E^* – эквивалентный модуль упругости; τ_0 – удельная сдвиговая прочность; β – пьезокоэффициент, характеризующий возрастание удельной силы трения с ростом фактического давления.

Толщина исследуемого покрытия значительно меньше радиуса кривизны индентора. В таком случае эквивалентный модуль упругости можно рассчитать через модули упругости материалов индентора и подложки.

Зависимости коэффициента трения исследованных пар от нагрузки на индентор приведены на рис. 1. Зависимости коэффициента трения от нагрузки в координатах $(f, N^{1/3})$, изображены на рис. 2, графики которых, в соответствии с уравнением (1), представляют собой прямые линии, согласно выражению (1), по наклону соответствующей прямой можно рассчитать величину τ_0 . Отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат, равен величине пьезокоэффициента β . Определенные таким образом значения τ_0 и β приведены на рис. 3 и в табл. 1. Степень близости зависимости $f = f(N^{-1/3})$ к прямой линии характеризуется величиной коэффициента корреляции Пирсона. Для всех испытанных пар трения величина этого коэффициента составляет 96–98%.

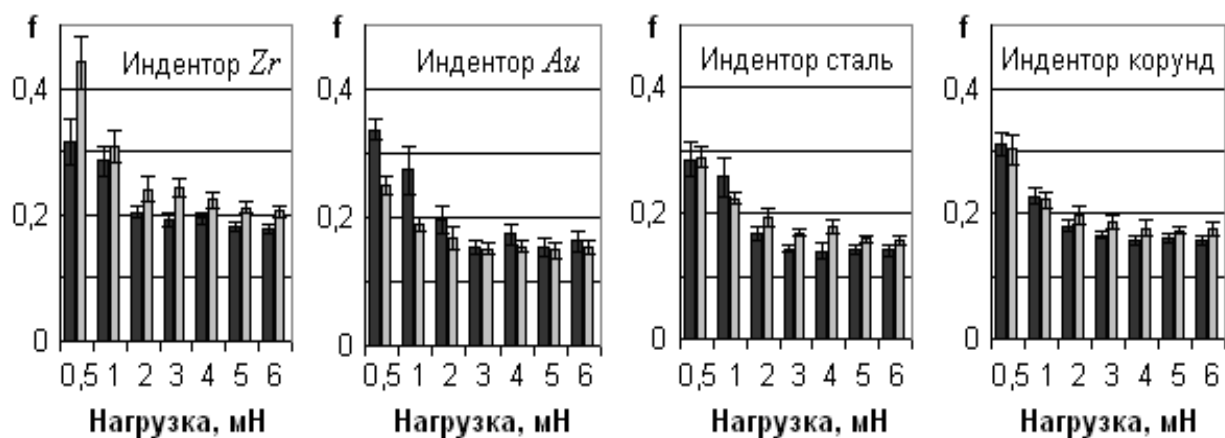


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от нагрузки для нитриidotитанового покрытия в паре с различными материалами индентора
 Материал подложки: ■ – титан; □ – сталь

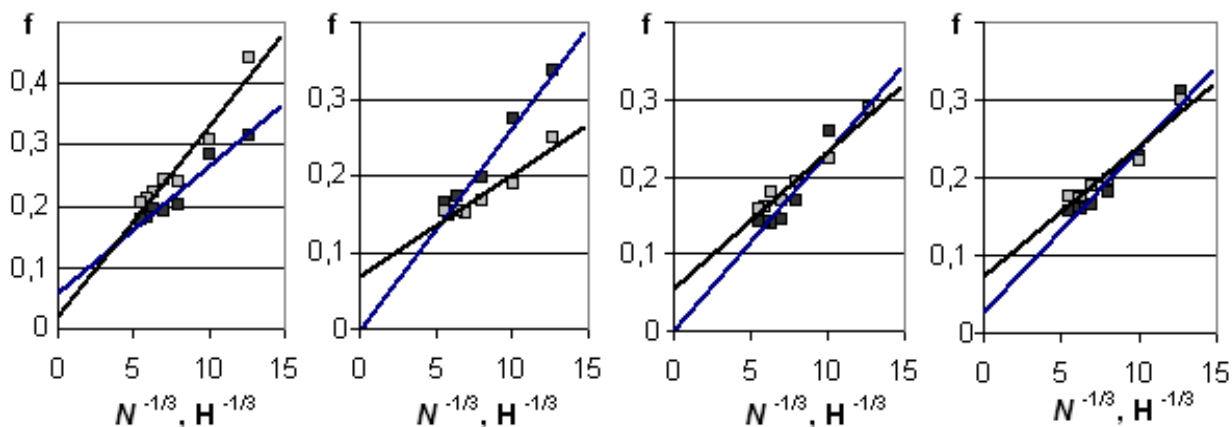


Рис. 2. Линейная аппроксимация зависимостей $f = f(N^{-1/3})$, представленных на рис. 1

С увеличением усилия, приложенного к индентору, значение коэффициента трения f нитриidotитанового покрытия в паре практически со всеми материалами индентора убывает примерно от 0,3 до 0,15. Наибольшие значения $f = 0,45 \div 0,21$ наблюдались для покрытия на стали в паре с индентором из циркония.

Результаты экспериментов показывают, что сдвиговая прочность адгезионного контакта у исследуемого покрытия в паре с неметаллом (корундом) значительно выше, чем в паре с металлами (рис. 3). Значение пьезокоэффициента β для исследованных пар трения не превышает 0,1 (табл. 1).

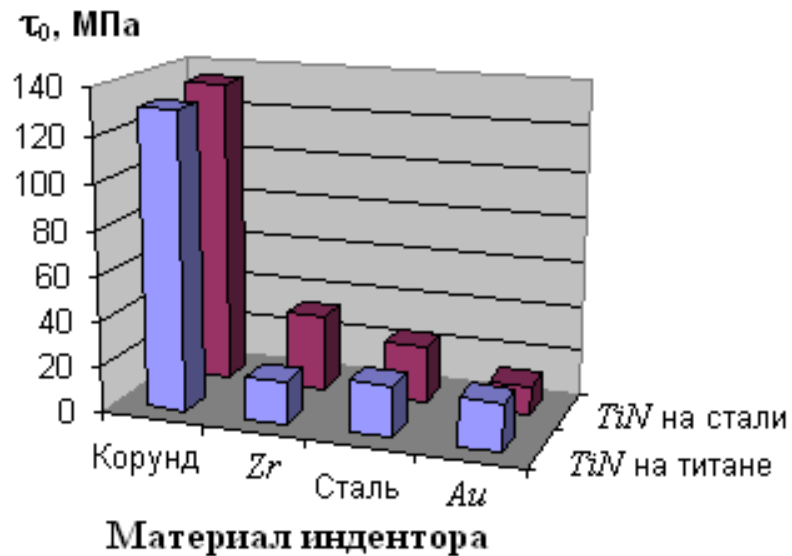


Рис. 3. Удельная сдвиговая прочность τ_0 для различных пар трения

Таблица 1. Значения параметра β

| Материал индентора | | Цирконий | Сталь | Золото | Корунд |
|---------------------|-----------|----------|-------|--------|--------|
| Покрытие <i>TiN</i> | на титане | 0,06 | 0 | 0 | 0,03 |
| | на стали | 0,02 | 0,05 | 0,07 | 0,07 |

Микротвердость поверхности образцов измеряли стандартным методом по отпечатку алмазной пирамидки при усилии 0,98 Н, мезотвердость – по отпечатку стального шарика при усилии 90 Н. Значения твердостей, определенные двумя способами, отличаются в 2–3 раза (табл. 2). Это связано с тем, что при измерении микротвердости глубина внедрения индентора сравнима с толщиной покрытия, и значения микротвердости определяются в основном деформацией покрытия. При измерении же мезотвердости глубина внедрения индентора превышает толщину покрытия, и значения мезотвердости определяются деформацией подложки (титана или стали). По этой причине значения микротвердости практически одинаковы (одинаковое покрытие на разных подложках), а значения мезотвердости различаются при разных подложках.

Таблица 2. Значения твердости

| Характеристика твердости | | Микротвердость, ГПа | Мезотвердость, ГПа |
|--------------------------|-----------|---------------------|--------------------|
| Покрытие <i>TiN</i> | на титане | 6,4 ± 0,6 | 2,9 |
| | на стали | 6,2 ± 0,4 | 1,8 |

Библиографический список

1. Патент РФ №2150688. Способ определения коэффициента трения покоя поверхностных слоев материала / В.В. Измайлов, А.Ф. Гусев, И.Н. Нестерова, А.А. Иванова; опубл. 10.06.2000. Бюл. № 16.
2. Измайлов, В.В. Контакт твердых тел и его проводимость: монография / В.В. Измайлов, М.В. Новоселова. Тверь: ТГТУ, 2010. 112 с.