

1. Порянова, А.В. Фторопласты в машиностроении / А.В. Порянова, Г.И. Божков, М.С. Тихонова. – М.: Машиностроение, 1971. – 320 с.
2. Полимерсиликатные машиностроительные материалы: физико-химия, технология, применение / С.В. Авдейчик [и др.]: под ред. В.А. Струка, В.Я. Щербы. – Минск: Тэхналогія, 2007. – 431 с.
3. Введение в физику нанокomпозиционных машиностроительных материалов / С.В. Авдейчик [и др.]; под науч. ред. В.А. Лиопо, В.А. Струка. – Гродно: ГГАУ, 2009. – 439 с.
4. Гусев, А.И., Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев. – М.: Физматлит, 2005. – 416 с.
5. Рамбиди, Н.Г. Физические и химические основы нанотехнологий / Н.Г. Рамбиди, А.В. Березкин. – М.: Физматлит, 2008. – 430 с.

УДК 539.216.2(045)

ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ВАКУУМНЫЕ ПОКРЫТИЯ

Д. В. Гридюшко, С. Н. Голушко

*Солигорский Институт проблем ресурсосбережения
с опытным производством, Солигорск*

Современные вакуумные технологии позволяют формировать функциональные покрытия различного состава, строения, геометрических размеров, назначения. Номенклатура таких покрытий в настоящее время необычайно широка и непрерывно развивается в связи с совершенствованием технологического оборудования и материальной базы, основанной на применении новых компонентов, в т.ч. наноразмерных.

Вместе с тем, практический опыт применения традиционных покрытий со сравнительно простой и доступной технологией нанесения на рабочие поверхности деталей трения, на обрабатывающий инструмент показывает, что потенциальные возможности таких покрытий реализованы не в полной мере и при использовании дополнительных методов модифицирования область их применения может быть существенно расширена [1, 2].

В последние годы широкое распространение получают методы нанесения износостойких покрытий в вакууме. Различают три основных метода нанесения покрытий: катодное распыление, термическое напыление и ионное осаждение [1 – 3]. В зависимости от реакционной способности газовой среды методы напыления могут быть физическими и химическими. Для получения покрытий из химических соединений применяют химические методы: реактивное катодное распыление и реактивное испарение. В

этом случае металлы и их соединения распыляют или испаряют в среде соответствующих газов или их смесей при давлении 10^{-1} Па.

Химические методы напыления покрытий в вакууме представляют наибольший интерес в связи с применением в узлах трения покрытий оксидов, карбидов, нитридов, боридов и других соединений, обладающих высокими антифрикционными свойствами и износостойкостью. Высокую износостойкость имеют покрытия TiC, TiN, отличающиеся высокой твердостью и относительно невысокими коэффициентами трения. Качество нанесения покрытия зависит от давления, расхода газа, вида и состава газовой среды, температуры в камере и других факторов.

Среди электрофизических способов получения тонких покрытий, обладающих повышенной фреттинг-коррозионной стойкостью, эффективным является метод ионного осаждения из плазмы дугового разряда, т.е. методом конденсации с ионной бомбардировкой. Оборудование для реализации этого метода обладает рядом преимуществ: это, прежде всего, высокая производительность и экологическая чистота процесса конденсации; возможность получения конденсатов широкого круга материалов и структурных состояний в высоком вакууме; высокие энергии конденсирующих ионов обуславливают широкие адгезионные свойства получаемых конденсатов, их простоту и т.д. Недостаток этого метода – сильная зависимость эксплуатационных свойств полученных покрытий от параметров технологического процесса их нанесения (давления азота, напряжение смещения, температуры подложки и др.), которые прямо или косвенно влияют на химический состав, структуру, механические и трибологические свойства покрытий. Причем в ряде работ отмечается, что структура, свойства покрытий и параметры процесса их осаждения связаны сложным, «безнадежно запутанным» образом [4, 5].

Для повышения стойкости режущего инструмента широко применяют покрытия нитрида титана, получаемые путем ионно-плазменного осаждения из паровой фазы, в частности методом КИБ (конденсация покрытий из плазменной фазы с ионной бомбардировкой поверхности).

Ионно-плазменные покрытия нитрида титана имеют очень высокую твердость ($HV = 16...30$ ГПа [3 – 7]), превышающую в 1,13 – 2,5 и 2,3 – 4,3 раза твердость твердых сплавов и быстрорежущих сталей, соответственно. В результате нанесения покрытий нитрида титана значительно уменьшаются сила трения и температура в зоне контакта, ослабляется адгезионное взаимодействие трущихся поверхностей, снижается энергия образования стружки. Все эти факторы приводят к увеличению стойкости режущего инструмента в 2 – 10 раз и более.

При получении монопкрытий ионно-вакуумными методами поверхностная микротвердость определяется составом и структурным состоянием покрытия. При получении карбидных, нитридных соединений поверхностная микротвердость покрытия в основном определяется давлением реактивного азота. Твердость же зависит не только от давления азота, но и от потенциала смещения, материала и температуры подложки, т.к. эти параметры процесса осаждения влияют (в разной степени) на размер зерна, морфологию, плотность дефектов, пористость, уровень остаточных напряжений [4].

Состав и структурное состояние покрытия влияют на характер разрушения его в процессе трения. При недостатке азота, т.е. при образовании Ti_2N , происходит разрушение покрытия по механизму хрупкого растрескивания. При давлении азота, соответствующем образованию примерно стехиометрического состава нитрида титана TiN , изнашивание покрытия происходит по окислительному механизму. При давлении азота, соответствующем сверхстехиометрическому содержанию азота в покрытии при трении, наряду с окислительным наблюдается и усталостный механизм разрушения.

В работе [6] на основе анализа экспериментальных результатов показано, что максимум износостойкости фиксируется при давлениях азота $(2...5)10^{-2}$ Па. Это совпадает с экстремальными значениями твердости (30 – 32 ГПа) и связано с появлением в структуре динитрида титана. Металлографические исследования показали, что Ti_2N образуется на границе контакта капельной фазы (неионизированного азотом $\alpha-Ti$) с нитридом титана, дефектным по азоту (25 – 42 ат. % N_2) в результате твердофазной реакции $TiN_{2-x} + \alpha-Ti \rightarrow Ti_2N$.

Капельная фаза, присутствующая в таком покрытии в заметных количествах, не влияет на адгезионное схватывание с контртелом при трении на воздухе. Провоцируя твердофазную реакцию, частицы $\alpha-Ti$ частично или полностью превращаются в динитрит титана, упрочняя покрытие. В связи с этим твердость капельной фазы возрастает до 18 – 32 ГПа.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что покрытие нитрида титана уменьшает коэффициент трения, скорость изнашивания, весовой износ и повышает износостойкость образцов. Максимум твердости покрытия КИБ не совпадает с максимумом износостойкости при резании и соответствует максимуму износостойкости при трении скольжения без смазки, что характерно для штампов холодного деформирования и других тяжело нагруженных деталей машин. При этом капельная фаза не является отрицательным фактом. Получение в покрытии нитрида титана нестехиометри-

ческого состава (содержание азота в TiN 35 – 45 %) позволяет обеспечить высокий комплекс свойств в покрытиях, нанесенных методом КИБ [8].

Литература

1. Новые ресурсосберегающие технологии и композиционные материалы / Ф.Г. Ловшенко [и др.]. – М.: Энергоатомиздат; БелГУТ, 2004. – 519 с.
2. Наноконпозиционные машиностроительные материалы: опыт разработки и применения / С.В. Авдейчик [и др.]; под. ред. В.А. Струка. – Гродно: ГрГУ, 2006. – 403 с.
3. Верещака, А.С. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями / А.С. Верещака, И.П. Третьякова. – М., 1986. – 240 с.
4. Шадричев, Е.В. Изучение износостойкости инструментальных материалов с ионно-плазменными покрытиями нитрида титана / Е.В. Шадричев // Трение и износ. – 1994. – Т. 5, № 4. – С. 660 – 744.
5. Влияние фазового состава на износостойкость ионно-плазменных покрытий из нитрида титана / Г.С. Фукс-Рабинович [и др.] // Трение и износ. – 1989. – Т. 10, № 4. – С. 742 – 744.
6. Фукс-Рабинович, Г.С. О некоторых принципах выбора композиционных материалов с поверхностью, упрочненной по комбинированной технологии для условий адгезионного изнашивания режущего инструмента / Г.С. Фукс-Рабинович // Трение и износ. – 1995. – Т. 16, № 2. – С. 291 – 297.
7. Fux-Rabinovich, G.S. Structure of Complex coatings // Wear. – 1993. – Vol. 160, no. XII. – P. 67 – 76.
8. Фторсодержащие ингибиторы изнашивания металлополимерных трибосистем / С.В. Авдейчик [и др.]. – Минск, 2011. – 270 с.

УДК 621.793.7.001.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПНЕВМОДИНАМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И ТВЕРДОСТИ ГАЛТЕЛЕЙ СЕРИЙНЫХ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ТРАКТОРОВ «БЕЛАРУСЬ»

С. Э. Завистовский, Т. И. Завистовская

Полоцкий государственный университет, Новополоцк

Оценка сопротивления усталости производилась при сравнительных испытаниях партии элементов коленчатых валов по среднему значению ограниченного предела выносливости на базе 10^7 циклов нагружения (в дальнейшем просто предел выносливости). Испытания проводились на стенде конструкции ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси», позволяющем испытывать каждое колено коленчатого вала без поломки последнего.