

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОПОКРЫТИЙ ПОЛУЧЕННЫХ НА ПРЕДВАРИТЕЛЬНО МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

КОНСТАНТИНОВ В.М., ТКАЧЕНКО Г.А., КОВАЛЬЧУК А.В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, v_m_Konst@mail.ru

Актуальной задачей современного материаловедения является разработка новых упрочняющих покрытий защищающих поверхность стального изделия от коррозии, изнашивания, механических повреждений. Быстро развивающимися являются технологии тонких наноструктурированных многокомпонентных покрытий. Такие покрытия на поверхности металлических подложек гарантируют высокие нанотвердость, износостойкость и другие механические свойства. Однако система «подложка – покрытие» имеет узкую область практического применения. Это обусловлено тем, что эксплуатационные свойства ограничены усилием и нагрузкой, которую может выдерживать подложка без продавливания покрытия. Подтверждением служат теоретические исследования автора [1, 5], которые показали, что для тонких твердых покрытий проявляется эффект снижения несущей способности слоистой системы (топокомпозита). Этот эффект заключается в снижении предельной нагрузки, действующей на топокомпозит, для появления пластической деформации в материале подложки (продавливание покрытия) по отношению к нагрузке, прикладываемой к подложке без покрытия и приводящей к такой же пластической деформации в ней. Решением проблемы следует считать рассмотрение эффективных характеристик топокомпозита – эффективной жесткости и эффективных пределов твердости, текучести и несущей способности, варианты расчета которых предложены автором [5]. Данная особенность свойственна металлам и сплавам твердость и прочность, которых не повышаются в результате упрочняющей термической обработки.

Исследования влияния модифицирования поверхности металлической подложки проводили на образцах, не испытывающих полиморфных превращений, следовательно, термически не упрочняемых. В качестве подложки было выбрано технически чистое железо (армо-железо), а также нержавеющая аустенитная сталь 12Х18Н9Т. Исходная микроструктура подложки представляла собой равновесную, полученную полным отжигом (950 °С) с твердостью НВ 120...150 на железе (структура феррит) и нержавеющей стали (структура аустенит). Модифицирование поверхности подложки заключалось в предварительной химико-термической обработке (азотирование). Выбор азотирования обоснован высокой твердостью диффузионного слоя от 500 до 1000 HV 0.01 без последующего термического упрочнения, низкой температурой процесса (исключает рост зерна материал), широким применением в промышленности. Покрытие нитрид титана было выбрано из-за его высокой технологичности, широкой распространенности, относительно низкой стоимости и высокого уровня триботехнических характеристик.

Предварительное азотирование проводили по стандартной технологии: температура 550 °С и выдержка более 12 часов. Результаты химико-термической обработки: толщина слоя на армо-железе составила 400...450 мкм, на нержавеющей стали толщина слоя 500...550 мкм. Микротвердость образцов до азотирования: нержавеющая сталь - твердость 152±10 HV 0.01, армо-железо – твердость поверхности 125±10 HV 0.01. После диффузионного насыщения: нержавеющая сталь – 840±10 HV 0.01, армо-железо – 400±10 HV 0.01. Изменение механических свойств поверхности подложек обусловлено формированием азотсодержащих фаз: α – фазы (армо-железе); γ – Fe₄N, CrN, γ – Fe аустенит (нержавеющая сталь). Толщина диффузионного слоя повлияла на жесткость (продавливание) поверхности, что подтверждается измерением макротвердости по Бринеллю по стандартным условиям. Исходная твердость подложки выросла до НВ 300...350.

Магнетронное нанесение покрытия TiN на модифицированную и немодифицированную подложку проводилось со слабой степенью ионного воздействия при сбалансированном магнетроне (мощность 5 кВт, скорость осаждения 0,85 мкм/(Вт·с), толщина покрытия от 1 мкм до 5 мкм). Качество покрытия контролировалось по внешнему виду, одноцветности, отсутствию вздутий на поверхности. На образцах с диффузионным слоем покрытие нитрид титана становилось матово-желтым в отличии от стандартного золотого.

Влияние модифицирования поверхности позволило изменить механические свойства слоистой системы «подложка-покрытие»: повысить микротвердость и износостойкость. Микротвердость системы выросла (таблица 1) за счет азотирования, которое обеспечивает меньшее продавливание индентора через покрытие. На образцах после азотирования разница

в твердости увеличивается на 400 HV 0.01 (армко-железо) и 1100 HV 0.01 (нержавеющая сталь) относительно образцов без диффузионного слоя.

Таблица 1 – Микротвердость образцов

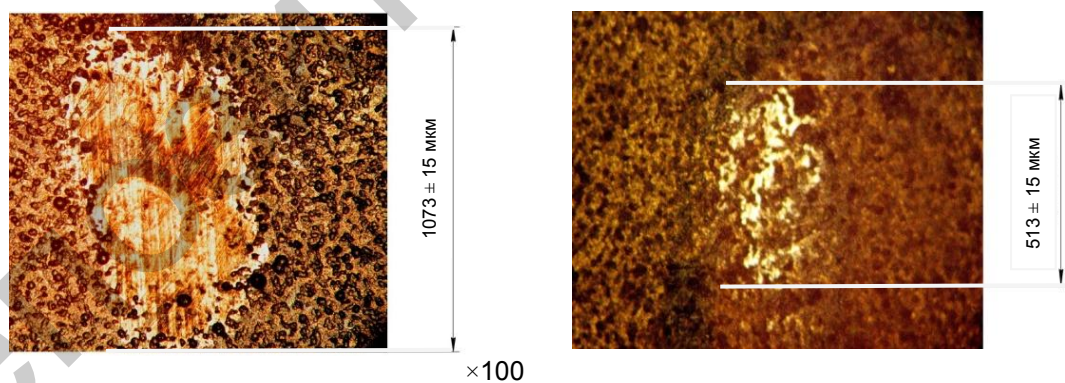
Покрытие и подложка	Микротвердость, HV 0.01
Армко-железо с TiN	256±10
Армко-железо с азотистым слоем и TiN	685±10
Сталь 12X18H10T с TiN	265±10
Сталь 12X18H10T с азотистым слоем и TiN	1300±50

Основное назначение любой упрочняющей технологии является повышение трибологических свойств изделия за счет формирования твердого, износостойкого покрытия.

Трибологические свойства топокомпозита на различной металлической основе определяли на машине трения. Установка представляла собой механизм, состоящий из контртела в виде диска из нержавеющей стали 12X18H9T вращение которого осуществлялось синхронным двигателем типа РД-09 через редуктор со скоростью 0,33 оборота в секунду. Испытуемый образец, предварительно сбалансированный в равновесии с помощью подвижного противовеса, прижимался к диску усилием в 10 грамм. Скорость вращения контртела удерживается в процессе испытаний постоянной с точностью стабилизации частоты питающего напряжения. Время испытаний фиксируется таймером и выдерживается постоянным для всех образцов. Дистанция трения определяется расчетным путем исходя из диаметра контртела. По истечении времени испытаний производится определение геометрических размеров трека износа и определяется величина износа.

Основные параметры и условия испытаний: сухое трение, диаметр контртела 60 мм, время испытаний 60 мин., точность контроля величины линейного износа ±10 нм, точность контроля дистанции трения ±1%, осевая нагрузка 0,05...1,00±0,01 Н, скорость вращения 0,33±0,006 об/с, температура пары трения 20...70 °С, поступательная скорость трения 0,06 м/с,

Топокомпозит из армко-железа (азотированный и не азотированный) и покрытия нитрид титана на протяжении всех испытаний показывал стабильные результаты. На всех образцах в трех точках измерения получались одинаковые дорожки износа. Это может говорить о равномерности распределения механических свойств покрытия по подложке (твердость и коэффициент трения). Результат испытаний показал эффективность применения диффузионного модифицирования непосредственно перед нанесением покрытия (рисунок 1).



а – без модифицирования;

б – после модифицирования;

Рисунок 1 – Дорожки износа топокомпозита на основе армко-железе

Изнашивание топокомпозита из нержавеющей стали с модифицированной поверхностью оказалось неравномерным и не совсем прогнозируемым. Некоторые участки покрытия, нанесенные на подложку, в трех точках показывали разные результаты износа. Это скорее всего обусловлено перепадом микротвердости по покрытию (1300±50 HV 0.01).

Трибологические испытания показали, что наибольшей износостойкостью обладают образцы с покрытием на модифицированной подложке. В таблице 2 представлены результаты и подсчитано примерное повышение износостойкости в процентах относительно исходных подложек.

Таблица 2 – Результаты трибологических испытаний топокомпозитов

Образец №	Fe	Fe + азотирование	Fe + TiN	Fe + азотирование + TiN
С, мкм	1073±15	1015±15	709±15	513±15
Повышение износост., %	–	5,7	34,0	52,0
Образец	12X18H10T	12X18H10 азотирование +	12X18H10T + TiN	12X18H10T азотирование + TiN +
С, мкм	1032±10	960±10	668±15	441±35
Повышение износост., %	–	7,0	35,0	57,0

Увеличение прочностных характеристик подложек (в основном твердости) после азотирования, приводит к увеличению времени до появления остаточной деформации в подложке и несколько нивелирует влияние разности в прочности (твердости) между подложкой и покрытием. Сжимающие остаточные напряжения в поверхностном слое подложки (азотирование и покрытие) увеличивают время до появления усталостных трещин. Также при наступлении начала последовательного разрушения покрытия модифицированная подложка, тормозит процесс развития очага разрушения и при полном разрушении покрытия под контролем.

Заключение

1. В исследованиях выполнен анализ влияния материала подложки на механические свойства топокомпозита с покрытием системы Ti-N. Установлено, что слоистый материал, состоящий из покрытия системы Ti-N и металлической основы, обладает твердость 256 ± 10 HV 0.01. Материал подложки и степень ее легирования не сказываются на твердости топокомпозита. Определяющим фактором повышения твердости многослойного материала является твердость самой подложки.

2. Способ модифицирования подложки и повышения жесткости и прочности является предварительное азотирование. Азотирование проводили на толщину слоя от 400 (армко-железо) до 550 мкм (стали 12X18H10T). Время выдержки обеспечило формирование твердых фаз (нитридов). Толщина диффузионного слоя обеспечила жесткость слоистой системы.

3. В результате модифицирования подложки (армко-железо) твердость топокомпозита 685 ± 10 HV 0.01. Повышение твердости обусловлено наличием диффузионного слоя (400 ± 10 HV 0.01), который исключает значительное продавливание индентора в глубину металла. Топокомпозит на подложке из нержавеющей стали (марка 12X18H10T) с модифицированной поверхностью позволяет получать твердости 1300 ± 50 HV 0.01.

4. Выполнены трибологические испытания топокомпозитов на различных металлических основах без модифицированной поверхности. Установлено, что материал подложки не влияет на износостойкость. Топокомпозит состава армко-железо и покрытие, изнашивается с той же интенсивностью, что и система, состоящая из нержавеющей стали и покрытия. Длина дорожек износа составила 670 ± 15 (железо) и 709 ± 15 мкм (нержавейка). Слоистая система с максимально твердой и жесткой модифицированной поверхностью (исключающим продавливание покрытия) изнашивается менее интенсивно. Топокомпозит на основе нержавеющей стали с азотистым покрытием показал наибольшую износостойкость (хотя и неравномерную), что подтверждает длина дорожки износа 441 ± 35 мкм.

Литература:

1. Воронин Н.А. Топокомпозиты – новый класс конструкционных материалов триботехнического назначения. Ч.1. Трение и износ, 1999. Т.20 №3. С. 313-320. Ч.2. Трение и износ, 1999. Т.20. №5. С.533-544.
2. Diao D. Tribo-design of coating/substrate system // Proceeding of the international symposium of high performance of tribosystem, May 28-29. 1999. KETRI, Korea, P. 36-41.
3. Ходасевич В.В., Солодухин И.А. Роль предварительного облучения и нагрева подложки в модификации переходного слоя и механических свойств покрытий TiN. // 3-я международная конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом». Октябрь 6-8. 1999. БГУ, Минск. С.109-111.
4. Polok M. Comparison of the PVD coatings deposited onto plasma nitrated steel. // Journal of achievements in materials and manufacturing engineering. 2010.V.42. №2.P.172-179.
5. Mancosu R. Plasma nitriding and PVD hard coating: a critical overview of duplex coating processing. // Jornadas Sam/Caonamet/Simposio Materia 2003. P.600-603.