

ВАКУУМНО-ДУГОВЫЕ МНОГОСЛОЙНЫЕ ПОКРЫТИЯ**В.М. Береснев***Научный физико-технологический центр МОН и НАН Украины (Харьков)
Украина*

Поступила в редакцию 27.01.2005

Изучены закономерности поведения многослойных вакуумно-дуговых покрытий в условиях фрикционного контакта со сталью Х12М в среде авиационного топлива ТС-1. Показано, что наилучший комплекс триботехнических свойств реализуется на образцах с покрытием TiN+ α -Ti и TiN+БрАЖ9-4.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ литературных данных [1 – 3] о механико-физико-химических и триботехнических свойствах покрытий на основе нитридов и карбидов тугоплавких материалов свидетельствуют, с одной стороны, о безусловной перспективности использования вакуумно-дуговых покрытий в узлах трения, а с другой стороны – о необходимости улучшения таких характеристик покрытий как задиростойкость, уровень стабильности коэффициента трения, изнашивающая способность.

Результаты предыдущих исследований [4, 5] позволили определить направление работ по дальнейшему улучшению антифрикционности вакуумно-дуговых покрытий. Это направление базируется на создании многослойных покрытий, которые должны обеспечить минимальные затраты энергии на трение за счет мягких прослоек, приводящих к релаксации контактных нагрузок.

Целью данной работы является создание и исследование триботехнических характеристик многослойных вакуумно-дуговых покрытий.

МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Многослойные покрытия TiN+ α -Ti, TiN+TiC, TiC+TiN, TiN+БрАЖ9-4 наносились на образцы 8×8×10 мм из стали 15ХА. В качестве контртела использовали цилиндрические образцы 50 мм из стали Х12М (HRC 63-64).

Испытания на трение проводили на машине МИ-1М по схеме “плоскость-цилиндр” в среде авиационного топлива ТС-1.

Основная серия экспериментов посвящена изучению износостойкости при скорости

скольжения 1,0 м/с, продолжительность одного испытания 6 часов. Нагрузку изменяли ступенчато. Адгезию покрытий по отношению к подложке оценивали по относительной площади скола при совместной локальной пластической деформации подложки и покрытия путем внедрения индентора твердомера Роквелла при нагрузке 980Н [6]. Полученные покрытия сколов не имеют и по этому критерию являются удовлетворительными.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 приведены значения коэффициента трения f , усредненные для каждого покрытия по всем нагрузкам испытаний, интервалы значения коэффициента трения для каждого покрытия Δf , средний объемный износ покрытий V за время испытаний, разброс объемного износа ΔV , максимальная глубина канавки износа h , а также критическая нагрузка задирообразования.

Сравнение результатов показывает, что наилучшим триботехническими свойствами обладают многослойные покрытия TiN+ α -Ti, TiN+БрАЖ9-4. Эти покрытия характеризуются наименьшими значениями износа. За время испытаний они изнашиваются на глубину $h = 1,7 \div 2,5$ мкм, кроме того они имеют и наивысшую нагрузку задирообразования.

Эффективность этих покрытий обусловлена конструкцией покрытий и электронным строением слоев.

Согласно работе [7] возникновение адгезионного взаимодействия между поверхностями возможно при образовании общих связей за счет электронного обмена, что при-

Таблица 1

Результаты изучения трения и износа многослойных покрытий

Фазовый состав	Толщина, мкм количество слоев	f	Δf	$V \cdot 10^{-3}$ мм ³	$\Delta V \cdot 10^{-3}$ мм ³	h мкм	Критическая нагрузка при испытаниях на задир, Н
TiN	$\frac{1}{8}$	0,17	0,13 ÷ 0,25	5	2 ÷ 35	3,5	1100
TiN+ α -Ti	$\frac{0,8 + 0,2}{8}$	0,12	0,09 ÷ 0,12	6	1 ÷ 8	1,7	1180
TiN+ БрАЖ9-4	$\frac{0,8 + 0,2}{8}$	0,09	0,09 ÷ 0,1	5	7 ÷ 9	2,5	1610
TiN +TiC	$\frac{1,0 + 1,0}{8}$	0,12	0,09 ÷ 0,17	25	2 ÷ 110	4,5	1100
TiC +TiN	$\frac{1,0 + 1,0}{8}$	0,13	0,1 ÷ 0,25	8	3 ÷ 35	5,0	1100

Примечание: в числителе толщина слоев, в знаменателе их количество.

водит к уменьшению общей энергии системы. Это является следствием увеличения локализации элементов в стабильные конфигурации, повышение доли конфигураций промежуточного спектра [8]

Повышение степени локализации электронов и увеличение доли стабильных конфигураций облегчается наличием в зоне контакта высоких давлений [9]. При этом доля стабильных конфигураций, образованных атомами контактирующих поверхностей, может быть больше первоначальной одного или обоих контактирующих металлов.

В первом случае будет наблюдаться износ и перенос металла с меньшей долей локализованных электронов на поверхность металла с большим их числом, во втором – взаимный перенос с обеих поверхностей.

Следует также учитывать, конфигурации какой энергетической устойчивости образуют локализованные электроны. К примеру, если локализованные электроны одного из металлов преимущественно d^{10} -, у второго d^5 -конфигураций, то при этом будет происходить износ первого и его перенос на второй, хотя число локализованных электронов у d^5 больше.

Нами было проведено экспериментальное исследование поверхности контртела при трении его в паре с многослойным покрытием TiN+БрАЖ9-4. Результаты микро-

рентгеновского спектрального анализа* приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты микрорентгеновского спектрального анализа поверхности контртела из стали X12M после трения

Точки	1	2	3	4	5	6
Содержание, %						
Cu	0,3					0,3
Ti	0,1					0,1

Из экспериментальных данных, приведенных в табл. 2, следует, что на поверхности контртела имеются участки, содержащие медь и титан, т.е. происходит перенос меди и титана, причем медь присутствует на всех участках контртела.

Этот результат подтверждает что поскольку энергетическая устойчивость меди имеющих d^{10} -конфигурацию, меньше, чем у железа (d^5 -конфигурация) и происходит перенос меди и уменьшается контактирование железа с титаном. Тем самым уменьшаются износ как контртела, так и многослойного покрытия TiN+БрАЖ9-4 т.е. реализуется механизм избирательного переноса [10].

* – исследование проводили на рентгеновском микроанализаторе “Самеса” в НПО “Буревестник” г.Санкт-Петербург, Россия.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Многослойные покрытия $TiN+\delta-Ti$, $TiN+BrAJ9-4$ обладают высокой износостойкостью, стабильным коэффициентом трения, высокой нагрузкой задиорообразования.
2. Величина износа определяется интенсивностью электронного обмена и прочностью фрикционных связей, обусловленной энергетической устойчивостью электронных конфигураций, образовавшихся в результате этого обмена. При этом избирательном переносе реализуется перенос меди и титана на контртело.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Костюк Г.И. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий. Книга 1. – Харьков: Изд-во АИНУ, 2002. – 587с.
2. Андреев А.А., Саблев Л.П., Шулаев В.М., Григорьев С.Н. Вакуумно-дуговые устройства и покрытия. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 2005. – 236 с.
3. Мацевитый В.М. Покрытия для режущих инструментов. – Харьков: Высшая школа, 1987. – 128 с.
4. Береснев В.М., Толоч В.Т., Грищенко В.И. Покрытия на основе тугоплавких соединений, осажденных из потоков металлической плаз-

мы вакуумной дуги//Физическая инженерия поверхности. – 2003. – Т. 1, № 3-4. – С. 237-258

5. Любченко А.П., Мацевитый В.М., Бакакин Г.Н., Береснев В.М., и др. Исследование износа вакуумно-плазменных покрытий из TiN при трении по металлическим материалам // Трение и износ. – 1983. – Т. 4, № 5. – С. 893-857
6. Мацевитый В.М., Романова Л.Н., Береснев В.М. Способ контроля качества адгезии износостойких покрытий//Тезисы докладов научно-технических конференций и применение прогрессивных инструментальных материалов и методов повышения стойкости режущих инструментов. Краснодар. – 1983. – С. 93-95
7. Мацевитый В.М., Удовенко Е.С., Казак И.Б. и др. Влияние износостойких покрытий на контактное взаимодействие режущих инструментов с обрабатываемым материалом// Сб. науч. трудов “Физика износостойкости поверхности металлов”. – Ленинград: ФТИ им.А.Ф.Иоффе. – 1989. – С. 201-205
8. Самсонов Г.В., Прядко И.Ф., Прядко Л.Ф. Конфигурационная модель вещества. – К.: Нукова думка, 1971. – 229 с.
9. Самсонов Г.В., Ковтун В.И., Бовкун Г.А. Влияние давления на трение, износ и свойства поверхности переходных металлов// Порошковая металлургия. – 1973. – № 4. – С.87-93.
10. Гаркунов Д.Н., Дякин О.Н., Курлов О.Н. Избирательный перенос в тяжело нагруженных узлах трения. – М.: Машиностроение, 1982. – 214 с.

ВАКУУМНО-ДУГОВІ БАГАТОШАРОВІ ПОКРИТТЯ

В.М. Береснев

Вивчені закономірності поведінки багатошарових вакуумно-дугових покриттів в умовах фрикційного контакту зі сталлю X12M в середовищі авіаційного палива ТС-1. Показано, що найкращий комплекс триботехнічних властивостей реалізується на зразках з покриттям $TiN+\alpha-Ti$ і $TiN+BrAJ9-4$.

VACUUM - ARC MULTILAYER COATINGS.

V.M. Beresnev

The article is dedicated to the investigation of behaviour of multilayer vacuum -arc deposited coatings during friction with the steel Cr12Mo in aviation fuel medium TC-1. It is shown that the best complex of tribotechnical properties is realized for the coatings $TiN - \delta Ti$ and – bronze AlFe 9-4.