

Рис. 4. Фрагменты рентгеновских дифрактограмм ($\text{CoK}\alpha$) от поверхностных слоев штамповой стали фирмы «WTC», обработанной по различным режимам: а - исходное состояние (закалка+отпуск); б - имплантация N' при 720 К

Литература

1. Белый, А. В. Инженерия поверхностей конструкционных материалов концентрированными потоками ионов азота / А. В. Белый, В. А. Кукарско, А. Патеюк. - Минск : Белорусская наука, 2007. - 244 с.

УДК 621.373.826+548.51

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОКОМПОНЕНТНО ЛЕГИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ

А.В. Рогачев, Н.Н. Федосенко, Д.Г. Пилипцов

УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины»

Введение. Многокомпонентные системы на основе углеродных покрытий характеризуются высокими физико-химическими, механическими свойствами, что определяет их высокую перспективность и эффективность при использовании в качестве функциональных элементов

различных устройств. Установлено, что легирование безводородных алмазоподобных покрытий металлами и неметаллами существенно влияет на их структуру, соотношение sp^2/sp^3 гибридных атомов, приводит к значительному изменению механических характеристик, электропроводности, оптических, триботехнических и других свойств [1].

Методика формирования многокомпонентно легированных углеродных покрытий. Легированные металлами углеродные покрытия ($C+Me$) наносятся следующими основными методами:

1) покрытия формируются одновременным нанесением углерода из источника плазмы импульсного катодно-дугового разряда с графитовым катодом и металла из электродугового испарителя с металлическим катодом;

2) покрытия формируются из плазмы импульсного катодно-дугового разряда с составным катодом из графита и легирующего металла;

3) углеродное покрытие формируется из плазмы импульсного катодно-дугового разряда, а легирование осуществляется путем одновременного осаждения на поверхности атомов металла, генерируемых электродуговым испарителем с металлическим катодом.

Для очистки и нагрева подложек применялась обработка их поверхности ионами металла с энергией 0,6 – 1,2 КэВ или ионами азота (аргона) с энергией ≤ 4 КэВ и плотностью ионного тока ≈ 25 А/м². Нанесение покрытия производилось при давлении в камере $\sim 3 \cdot 10^{-3}$ Па. Отрицательный потенциал смещения, подаваемый на образец, ≈ 150 В.

Углеродные покрытия наносились при напряжении разряда 250 – 300 В и частоте импульсов от 5 до 20 Гц. Данные режимы выбирались согласно полученным ранее рекомендациям.

Схема установки, представленная на рис. 1, позволяет получать углеродные покрытия, легированные атомами различных металлов.

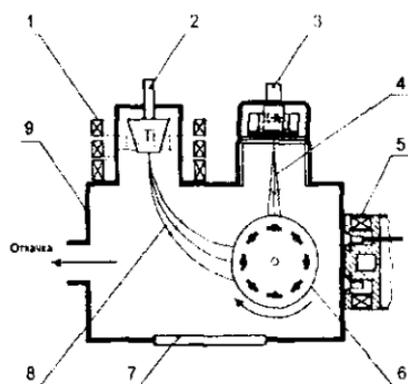


Рис. 1. Схема вакуумной установки, предназначенной для получения легированных металл-углеродных покрытий: 1 - магнитные катушки; 2 - электродуговой испаритель; 3 - источник плазмы импульсного катодно-дугового разряда с составным катодом из графита и металла; 4 - поток углеродной и металлической плазмы; 5 - ионный источник; 6 - предметный стол; 7 - смотровое окно; 8 - поток металла; 9 - вакуумная камера

Определение параметров трения и изнашивания тонких, толщиной 0,1 – 5,0 мкм покрытий, особенно легированных, является сложной задачей. Ее решение требует применения прецизионных измерений, использования высокоточных функциональных узлов. Известные методы, в частности, основанные на определении интенсивности акустических сигналов в процессе трения, параметров упругой волны, возникающей при контактном взаимодействии пары, регистрации амплитуд дискретной и непрерывной составляющих акустической эмиссии в процессе контактного взаимодействия, характеризуются высокой погрешностью, и при их реализации необходимо проведение достаточно сложной предварительной тарировки. Триботехнические испытания проводили на микротрибометре ММТ, по схеме сфера – плоскость (шарик $r = 3$ мм из закаленной стали ШХ15). Микротрибометр подключается с помощью дополнительного оборудования к компьютеру, на котором с помощью программы устанавливаются и записываются необходимые параметры. Режим трения: нагрузка 1,50 Н, средняя скорость перемещения 0,04 м/сек, подложка – сталь 12Х18Н10Т (рис. 2 – 5).

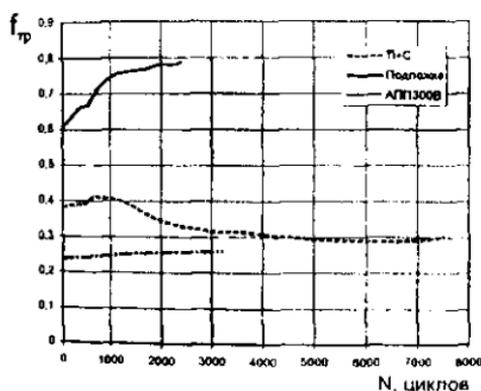


Рис. 2. Изменение коэффициента трения покрытий Ti+C, подложки, АПП в процессе трения

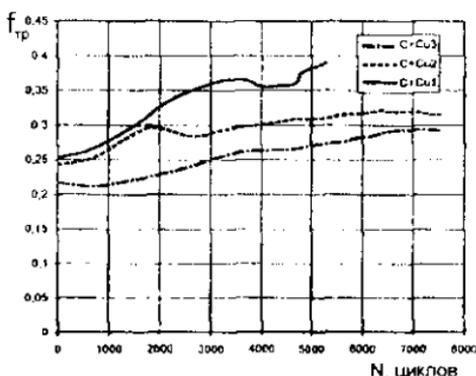


Рис. 3. Изменение коэффициента трения углеродных покрытий с различным содержанием меди в процессе трения

Определение внутренних напряжений. Для оценки напряжений в пленке на кремниевой подложке использовался рентгеновский дифракционный анализ. При расчете напряжений модуль Юнга E и коэффициент Пуассона μ принимались равными 1,1·10³ ГПа и 0,07 соответственно. Исследовано влияние концентрации легирующих элементов углеродного покрытия на величину внутренних напряжений. Установлено, что величина напряжений зависит от концентрации легирующих элементов. Это

позволяет регулировать механические свойства путем многокомпонентного легирования углеродных покрытий.

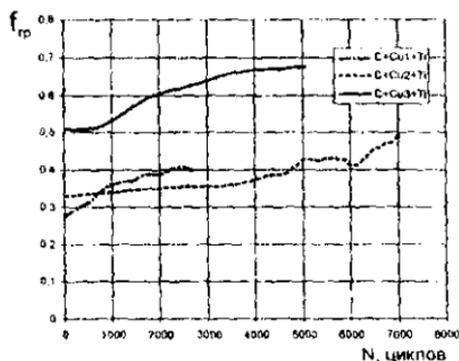


Рис. 4. Изменение коэффициента трения Ti-C покрытий с различным содержанием меди в процессе трения

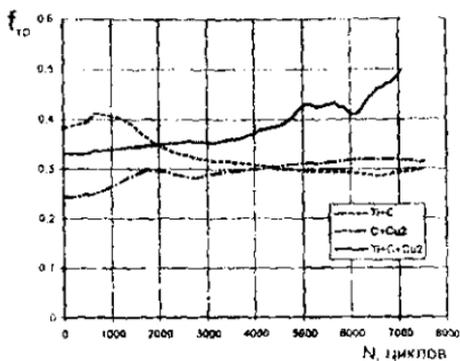


Рис. 5. Изменение коэффициента трения Ti-C, C-Cu2, Ti-C-Cu2 покрытий в процессе трения

Результаты исследований приведены в таблице. Метод основан на регистрации рентгеновского излучения, отраженного двумя разными точками кристалла под углом Вульфа - Брегга.

Таблица

Значения внутренних напряжений для покрытий с различной концентрацией легирующих элементов

Метод получения	Состав покрытия	Тип напряжения	σ , ГПа
Импульсный катодно-дуговой разряд	C _{97,6%} + Cu _{2,4%} (1)	сжатия	47,9
	C _{97,3%} + Cu _{2,7%} (2)	сжатия	66,3
	C _{97,26%} + Cu _{2,74%} (3)	сжатия	13,04
Импульсный катодно-дуговой разряд + электродуговое испарение металла	C _{50%} + Cu (1) _{0,575%} + Ti _{49,425%}	сжатия	16,0
	C _{50%} + Cu (2) _{0,85%} + Ti _{49,15%}	сжатия	17,6
	C _{50%} + Cu (3) _{0,815%} + Ti _{49,185%}	сжатия	15,2

Выводы

1. Легирование углеродного покрытия металлами снижает коэффициент трения и повышает его долговечность (износостойкость).
2. Увеличение содержания меди в однокомпонентно легированном углеродном покрытии снижает коэффициент трения и повышает стабильность работы контактной пары.

3. При введении в АПТ титана и меди наблюдается возрастание, в целом, коэффициента трения. При этом покрытие, содержащее больше меди, характеризуется более высокими значениями коэффициента трения. Данный эффект обусловлен, по-видимому, снижением содержания в таком покрытии нитрида титана.

Литература

1. Рогачев, А. В. Триботехнические свойства композиционных покрытий, осаждаемых вакуумно-плазменными методами / А. В. Рогачев // Трение и износ, 2008. – Т. 29, № 3. – С. 285 – 592.

УДК 621.785.53

УЛУЧШЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЙ ПРИ АЗОТИРОВАНИИ В СРЕДЕ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ АЗОТА

С.С. Дьяченко, Е.А. Литус

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Введение. В настоящее время актуальной является проблема увеличения срока службы деталей машин. Одним из методов повышения долговечности является химико-термическая обработка, и в частности азотирование. Азотированию подвергают легированные стали, содержащие алюминий, хром, ванадий, молибден и другие элементы, легко образующие с азотом нитриды, а также азотируют чугуны, титановые и молибденовые сплавы.

Широко применяются методы азотирования в жидких, газовых средах, в вакууме, тлеющем разряде и др. Традиционные процессы – в соляной ванне и газовой среде (аммиаке) – являются довольно длительными (до 0,01 мм/ч) и требуют специального оборудования [1].

Для упрощения процесса азотирования применяют порошковые смеси. В этом случае устраняется необходимость использования сложного и дорогого оборудования. Недостатками известных смесей является сложность их приготовления из-за большого количества компонентов, а также недостаточная интенсивность азотирования, что приводит к малой глубине диффузионного слоя. В данной работе при разработке новой технологии азотирования целью было использование минимального количества компонентов для упрощения приготовления смеси и