

Иващенко С.А., Царук О.В.

## ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

*Белорусский национальный технический университет.  
г. Минск, Республика Беларусь*

Соединения тугоплавких металлов, обладая уникальностью и широким диапазоном свойств, позволяющих их использовать в качестве износостойких покрытий, имеют свои преимущества и недостатки. С учетом функции покрытия как «третьей среды» в паре трения, использование монослойных покрытий из одного тугоплавкого соединения не всегда удовлетворяет основным требованиям, предъявляемым к износостойким покрытиям. Поэтому в качестве износостойких все большее применение находят композиционные покрытия различного типа, обладающие улучшенными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками. К таким относятся, в частности, многослойные (мультислойные) покрытия постоянного или переменного состава, а также полосчатые. Однако механические и защитные свойства таких покрытий, а также особенности их нанесения изучены недостаточно, что затрудняет их практическое использование. Поэтому были проведены исследования некоторых параметров вышеуказанных композиционных покрытий с целью отработки технологии их формирования на металлических подложках.

Количество, толщина и материал осажденных слоев покрытия зависят от следующих факторов: материала и габаритов деталей, условий их эксплуатации, величины воспринимаемой нагрузки, требований к физико-механическим и химическим свойствам покрытий и основы. Процесс нанесения многослойных покрытий начинается с осаждения на основу присоединительного слоя, обладающего повышенной адгезией к основе. В качестве материала присоединительного слоя лучше всего использовать твердый раствор или смесь тугоплавкого металла с его нитридом. На присоединительный слой наносят один или несколько промежуточных слоев из нитрида или карбида титана или другого тугоплавкого металла, а затем – наружный рабочий слой покрытия, твердость которого больше, чем у последнего промежуточного. Количество промежуточных слоев покрытия назначается в зависимости от твердости рабочего и присоединительного слоев.

Одним из перспективных направлений развития вакуумно-плазменного осаждения покрытий является получение износостойких композиций путем создания мультислойных покрытий, состоящих из большого количества слоев, толщина которых составляет несколько периодов кристаллической решетки.

Осаждение мультислойных покрытий TiN проводилось на установке УРМЗ.279.048 в условиях, не допускающих попадания на образцы капельной

фазы. Режимы формирования покрытия были выбраны следующими: очистка ускоренными ионами титана в импульсном режиме при напряжении 1000 В и токе дуги 80 А, осаждение покрытия осуществлялось при токе дуги 80 А, напряжении на подложке 100 В и давлении реакционного газа (азота)  $9 \times 10^{-2}$  Па. После нанесения каждого слоя покрытия выдерживалась пауза порядка 5...10 с. Большая продолжительность паузы соответствовала большей толщине слоя покрытия. Общая толщина покрытий составляла  $5 \pm 0,1$  мкм.

Исследование структуры покрытий показало, что период кристаллической решетки ( $\alpha$ ) зависит от толщины слоев покрытия. Установлено, что период решетки TiN уменьшается с ростом толщины слоя от 10 до 100 нм, а при дальнейшем увеличении толщины практически не изменяется, приняв значение  $\alpha = 0,4275 \pm 0,0005$  нм. Эта величина больше периода кристаллической решетки нитрида титана в массивном состоянии ( $\alpha = 0,4275$  нм). Увеличение периода решетки покрытия TiN и зависимость  $\alpha$  от толщины слоя можно объяснить высоким уровнем внутренних напряжений, которые увеличиваются с уменьшением толщины слоя покрытия. Это связано с тем, что формирование тонких нанослоев конденсата из-за их быстрого охлаждения происходит в сильно неравновесных условиях, что приводит по-видимому, к образованию ультрадисперсной структуры с большим количеством внутренних дефектов и искажений.

Проведенные исследования мультислойных покрытий с толщиной слоев менее 50 нм показали, что они обладают нанокристаллической мелкодисперсной структурой с размерами кристаллитов около 10 нм, причем отдельные кристаллиты не имеют правильной формы и четких границ.

Наряду с мультислойными покрытиями постоянного химического состава были исследованы покрытия переменного состава, в частности, полосчатые покрытия, представляющие собой чередование мультислойных полос (участков) из износостойкого и антифрикционного материалов и сочетающие в себе преимущества мультислойных покрытий постоянного состава и обычных полосчатых покрытий. В качестве антифрикционного материала может использоваться медь, бронза и некоторые другие пластичные металлы.

Расположение полос из антифрикционного материала зависит от формы подложки, типа движения в паре трения (возвратно-поступательное или вращательное) и направления вектора скорости относительного скольжения. Для плоских подложек при возвратно-поступательном движении полосы располагают параллельно друг другу в направлении, перпендикулярном вектору скорости относительного движения. Для подложек больших габаритов, длина и ширина которых соизмеримы, может использоваться шахматная схема расположения антифрикционных полос. В случае вращательного движения плоской поверхности полосы целесообразно располагать радиально относительно оси вращения детали. Для деталей типа тел вращения при возвратно-поступательном движении в паре трения полосы наносятся в

виде колец, а при вращательном движении – в виде полос, перпендикулярных вектору скорости относительного скольжения.

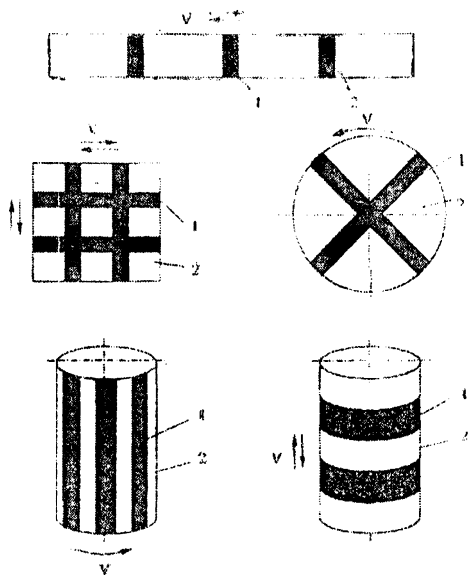


Рисунок 1 – Схемы расположения полос из антифрикционного материала в полосчатом покрытии: 1 – антифрикционный материал; 2 – износостойкий материал.

Относительно пластичные полосы из антифрикционного материала выполняют роль температурных барьеров и одновременно являются демпферами, компенсирующими увеличение или уменьшение линейных размеров покрытия при его остывании под влиянием разных коэффициентов термического расширения покрытия и подложки, а также изменение объема конденсата вследствие происходящих в нем субструктурных изменений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иващенко, С.А. Газотермические и вакуумно-плазменные покрытия со специальными физико-механическими свойствами / С.А Иващенко, И.С. Фролов, Ж.А. Мрочек. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – 236 с.
2. Верещака А.С. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями / А.С. Верещака, И.П. Третьяков. – М.: Машиностроение, 1986. – 192 с.
3. Самсонов, Г.В. Тугоплавкие покрытия / Г.В. Самсонов, А.П. Эпик. – М. Металлургия, 1973. – 400 с.

4. Лахтин Ю.М. Исследование структуры и свойств карбонильных вольфрамовых и молибденовых покрытий / Ю.М. Лахтин, В.Л. Либерман // Современное оборудование и технология термической и химико-термической обработки металлических материалов: Материалы семинара. – М., 1989. – С.143-146.

УДК 620:18.198.22+699.017

Лин Д.Г., Седярова С.Н.

## УВЕЛИЧЕНИЕ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЯ ПРИ ТЕРМОВУЛКАНИЗАЦИИ РЕЗИН НА СТАЛИ

*УО «Гомельский госуниверситет им. Ф. Скорины», г. Гомель, Беларусь*

Some aspects of fastening of rubber mixes on steel are considered. The effective method of increasing of adhesive durability in combinations of sulfuric vulcanizate with steel due to additional introduction of sulfur in a zone of adhesive contact is developed.

Вулканизационное крепление резиновых смесей на стали продолжает вызывать широкий практический интерес. Здесь главной проблемой по-прежнему остается относительно невысокая прочность сцепления резины с подложкой, а применяемые методы по ее увеличению в значительной мере усложняют технологический процесс формирования адгезионной связи.

Многочисленные рекомендации по увеличению адгезионной прочности (АП) соединений резины с металлами основываются на использовании промежуточного слоя, представляющего собой резиновую смесь, содержащую повышенную или пониженную концентрацию сшивающего агента – серы. Основу этих рекомендаций составляет существующая взаимная связь адгезионных и механических свойств резин [1]. Эта связь наиболее ярко проявляется при переходе вулканизата из одного релаксационного состояния в другое. Установлено [2, 3], что максимальная АП, оцениваемая сопротивлением расслаивания соединений, достигается, если вулканизат в зоне адгезионного контакта находится в промежуточной стадии между двумя релаксационными состояниями. Это может быть промежуточная стадия между вязкотекучим и высокоэластическим или высокоэластическим и стеклообразным состояниями вулканизата. Реализовать такой подход можно различными методами, в том числе за счет изменения концентрации сшивающего агента в составе резиновой смеси, находящейся в непосредственном контакте с металлической подложкой. Целью данной работы явилась разработка эффективного метода