

ТИМОФЕЕВ С.С., д.т.н., профессор кафедры качества, стандартизации, сертификации и технологий изготовления материалов (Украинский государственный университет железнодорожного транспорта)

Обоснование выбора материалов антифрикционных износостойких покрытий деталей триботехнического назначения

В статье приведены данные исследований физико-механических свойств износостойких антифрикционных покрытий из титана, нитрида титана, карбида бора, латуни и меди, легированной дисульфидом молибдена. Рассмотрена возможность применения таких покрытий для деталей пар трения путевых машин. Установлено, что наиболее полно условиям эксплуатации деталей путевых машин отвечают двухслойные покрытия, состоящие из износостойкого слоя TiN и антифрикционного $\text{Cu} + \text{MoS}_2$.

Ключевые слова: пара трения, восстановление, антифрикционное износостойкое покрытие, триботехнические свойства.

Постановка проблемы

При восстановлении работоспособности деталей триботехнических соединений наиболее перспективным должно быть решение использовать такие технологические способы восстановления, которые позволили бы снизить до минимума количество технологических операций с формированием покрытий на поверхности детали с заданными эксплуатационными свойствами. При этом способ восстановления должен протекать при низких температурах с целью исключения коробления деталей. Для восстановления деталей пар трения наиболее перспективным в этом отношении является комплексная обработка, которая обеспечит получение материала многокомпонентного покрытия с заданными эксплуатационными свойствами. В настоящее время согласно исследованиям многих учёных транспортного машиностроения и ремонтных предприятий необходим поиск материалов с новыми свойствами, получаемых в одном технологическом цикле изготовления и восстановления деталей.

Цель статьи - обосновать выбор материалов покрытия для деталей пар трения, повышающих их ресурс.

Основной материал исследования

Тип антифрикционного износостойкого покрытия определяется характером износа деталей пар трения. Условия эксплуатации деталей предъявляют ряд вполне определённых требований к физико-механическим свойствам материалов покрытия. Они должны обладать высокими микротвёрдостью и теплопроводностью, что позволяет им противостоять процессам истирания и абразивного изнашивания [1]. Кроме того, эти материалы должны отличаться химической инертностью, препятствующей развитию окислительного процесса и характеризоваться высокой температурой плавки, что при соответствующей структуре взаимодействующих поверхностей позволяет блокировать очаги схватывания.

Таким требованиям в достаточной мере отвечают покрытия из нитридов, карбидов и карбонитридов тугоплавких материалов. Однако известно, что покрытия, обладающие высокой микротвёрдостью, плохо прирабатываются, в результате чего начальная стадия эксплуатации деталей с покрытием протекает достаточно жёстко [2]. Материалы покрытий, обладающих повышенными антифрикционными свойствами должны отличаться низкой микротвёрдостью и высокой пластичностью. Этими свойствами в достаточной степени обладают такие материалы как медь, латунь, а также сульфиды металлов, в частности, дисульфид молибдена MoS_2 [3].

Альтернативный характер свойств материалов износостойких и антифрикционных покрытий позволяет сделать вывод о том, что покрытия деталей должны представлять собой либо многослойное покрытие с определёнными физико-механическими свойствами каждого из слоёв, либо однослойные многокомпонентные покрытия, с заданным распределением компонентов по толщине.

Формирования на поверхности изделий многослойных покрытий позволяет в очень широком диапазоне модифицировать свойства их рабочих поверхностей, а также изменять эти свойства по заданному закону по мере изнашивания поверхностных слоёв.

Однако следует отметить, что поэтапное формирование многослойных покрытий значительно усложняет технологический процесс и требует уникального дорогостоящего оборудования. Кроме того, резко возрастает длительность процесса и падает его производительность. Всё это приводит к тому, что промышленное нанесение покрытий с числом слоёв выше трёх становится нерентабельным.

Опыт нанесения однослойных покрытий с заданным распределением компонентов по толщине, формирование которых осуществляется в течение одного технологического цикла, практически отсутствует и в известной литературе не встречается.

Были исследованы оба направления поиска оптимальных покрытий для деталей подбивочных

блоков путевых машин. Для проведения таких исследований был изготовлен набор распыляемых эродируемых катодов, который в сочетании с соответствующими газ-реагентами позволял получить покрытия из титана, нитрида титана, карбида бора, латуни и меди, легированной дисульфидом молибдена.

В качестве износостойких покрытий исследовались плёнки из нитрида титана и карбида бора.

Предварительные исследования триботехнических свойств различных покрытий, проведенные в рамках выбора материала покрытий показывают, что по таким характеристикам как коэффициенты трения, предельная нагрузка схватывания и прирабатываемость (рис. 1) достаточно полно условиям работы деталей путевых машин отвечают упрочняющие покрытия из карбида бора.

Существующие технологии формирования таких покрытий предусматривают борирование упрочняемой поверхности последующей её карбидизацией.

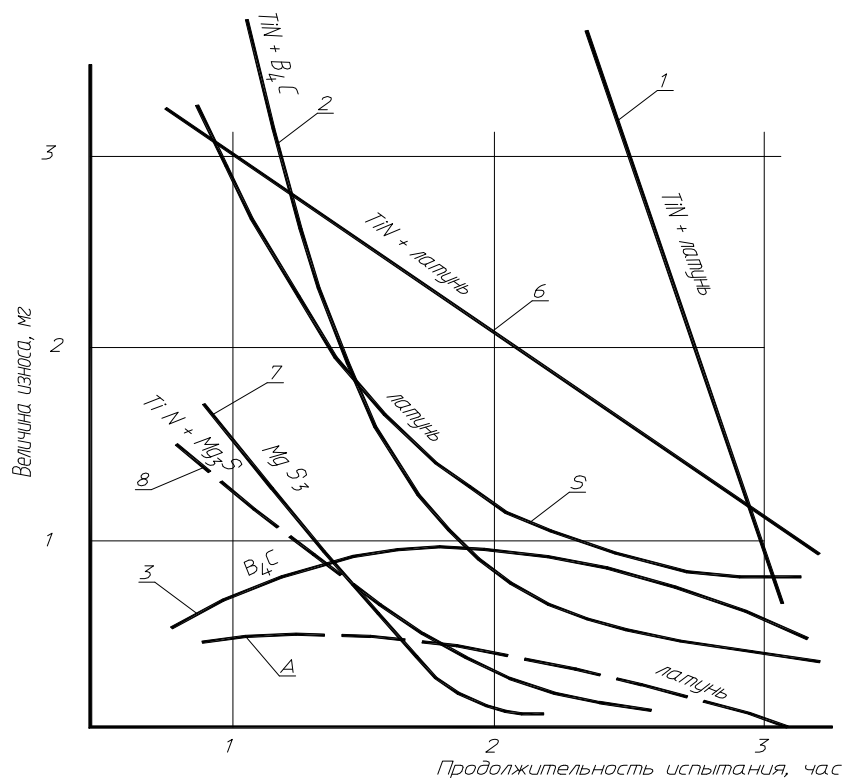


Рис. 1. Массовый износ покрытий в период приработки:

- 1) TiN + латунь – сталь; 2) TiN + B_4C – сталь, чугун; 3) B_4C – сталь; 4) латунь – чугун; 5) латунь – сталь;
- 6) TiN + латунь – сталь; 7) MoS_2 – сталь; 8) TiN + MoS_2 – сталь, чугун

Покрытия из карбида бора отличаются очень высокими эксплуатационными свойствами. Однако технология их нанесения не позволяет строго контролировать скорость роста покрытия и процентное

содержание в нём карбида бора. Кроме того, катодная вставка из B_4C отличается низкой механической прочностью при работе в условиях термоциклирования и требует частой замены. Перечисленные недостатки

не позволяют рекомендовать данную технологию для изготовления и восстановления деталей топливной аппаратуры.

Учитывая высокую технологичность процессов нанесения покрытий из нитрида титана, а также тот факт, что в сочетании с антифрикционными плёнками данные покрытия превосходят по основным триботехническим параметрам плёнки из B_4C , выбор износостойких покрытий был остановлен на тонких плёнках из нитрида титана.

В качестве антифрикционных покрытий исследовались тонкие плёнки из латуни ($\text{Cu} + \text{Zn}$) и меди с дисульфидом молибдена ($\text{Cu} + \text{MoS}_2$).

Антифрикционные свойства латуни известны давно и достаточно хорошо изучены. Наиболее полно эти свойства проявляются, когда в медную основу этого материала включается до 15% цинка и до 1% свинца. Рядом авиастроительных фирм США такие покрытия используются для повышения эксплуатационных свойств деталей пар трения, однако технология их формирования не раскрывается [4]. Опыт нанесения покрытий из латуни вакуум-плазменным методом в отечественной литературе отсутствует.

Основная сложность, возникающая при вакуум-плазменном осаждении покрытий из латуни заключается в том, что скорость распыления меди значительно выше скорости распыления цинка и свинца. Это приводит к тому, что концентрация ионов меди в плазмообразующей среде значительно превышает концентрацию этого элемента в материале катода. Кроме того, скорость конденсации меди выше, чем у цинка и свинца. В результате покрытия, полученные из катода с соотношением компонентов медь-цинк-свинец соответственно $(74 \div 15 \div 1)$, представляют собой медную плёнку, в которой цинк и свинец присутствуют только на уровне примесей (рис. 2).

По мере эксплуатации латунного катода, его рабочая поверхность обедняется медью. Концентрация свинца и цинка в приповерхностном слое рабочего торца катода возрастает и, достигая 1,5% Pb и 25% Zn, остаются постоянными. При этом соотношение компонентов в плазмообразующей среде и в плёнке покрытия стабильно и близко к их соотношению в теле катода. В связи с этим катоды из латуни подвергались предварительной приработке в течение $4 \div 1$ часов в режимах дугового разряда соответствующих режимам нанесения покрытий.

Плёнки, сформированные в таких условиях, обладают хорошей адгезией к материалам железоуглеродистой группы и по таким параметрам, как прирабатываемость и предельная нагрузка задирособразования вполне соответствуют требованиям, предъявляемым антифрикционным покрытиям. Однако коэффициент трения латунных

вакуум-плазменных покрытий в сочетании со стальными контр-телами достаточно высок.

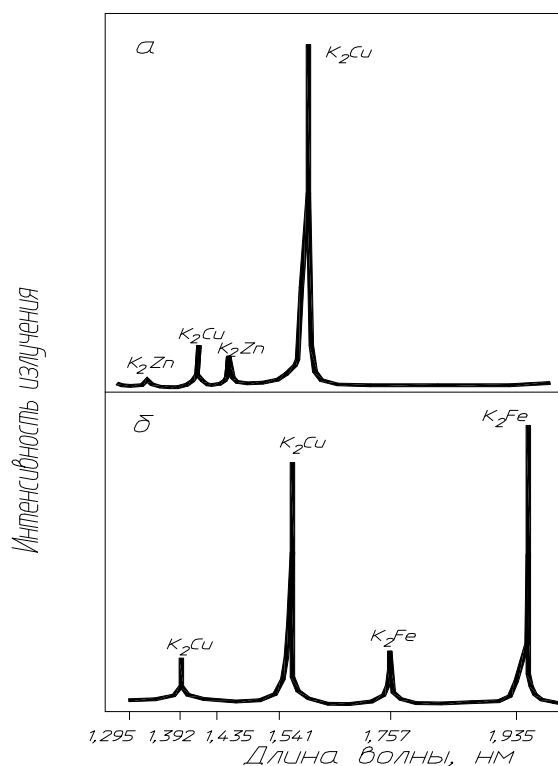


Рис. 2. Спектры характеристического излучения на покрытиях из латуни: а – спектр латуни; б – спектр покрытия при недостаточной приработке катода.

Покрyтия, содержащие сульфиды молибдена, отличаются наиболее высокими антифрикционными свойствами [5]. В настоящее время такие покрытия наносятся на поверхность деталей пар либо механическим трением, либо детонационным способом. Покрyтия, получаемые этими способами, очень тонки и легко изнашиваются.

Опыт нанесения покрытий из сульфидов молибдена методами вакуум-плазменной технологии отсутствует как в отечественной, так и в зарубежной литературе. Это объясняется тем, что сульфиды молибдена представляют сыпучий материал с низкой диэлектрической проводимостью, что не позволяет применять его для изготовления торцевых катодов.

Однако легко предположить, что если проводящая основа катода содержит диэлектрические включения, размеры которых меньше или равны размерам катодного пятна дугового разряда, такие включения будут подвергаться электроэрозии и участвовать в плазмообразовании. Данное предположение позволило разработать вакуум-плазменную технологию нанесения покрытий на медной основе с высоким

содержанием дисульфида молибдена.

Ваккум-плазменные покрытия, содержащие дисульфид молибдена ($\text{Cu} + \text{MoS}_2$), наряду с высокой адгезией обладает очень высокими триботехническими свойствами. Так, нагрузка задиорообразования у таких покрытий достигает 20 МПа, а коэффициент трения при взаимодействии со стальными поверхностями не превышает 0,02. Эти данные выгодно отличают покрытия, содержащие дисульфид молибдена от плёнок из латуни (рис. 1), поэтому при выборе материала антифрикционного покрытия предпочтение было отдано плёнкам из $\text{Cu} + \text{MoS}_2$.

Выводы

На основании проведенных исследований было установлено, что при восстановлении деталей пар трения путевых машин наиболее полно условиям их эксплуатации отвечают двухслойные покрытия, состоящие из износостойкого слоя TiN и антифрикционного $\text{Cu} + \text{MoS}_2$. Применение данных покрытий способствует повышению эксплуатационных свойств и ресурса деталей триботехнических соединений.

Литература

1. Бегагоен Е.М. Технологические напряжения в покрытиях. – М.: Металлургия, 1976. – 231 с.
2. Шнейдер Ю.Г. Образование регулярных микрорельефов на деталях и их эксплуатационные свойства. – Л.: Машиностроение, 1972. – 240с.
3. Кузнецов В.Д. Пашенко В.М. Фізико-хімічні основи створення покриттів: Навч. посібник. – К.: НМЦ ВО, 1999. – 176 с.
4. Черновал М.И. Упрочнение и восстановление деталей машин композиционными покрытиями: Учеб. пособие. – К.: Вища школа, 1992. – 79 с.
5. Поляк М.С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения. В 2-х т. – Т.2.- М.: «Л.В.М. – СКРИПТ»; Машиностроение, 1995. – 688 с.

Тимофеев С. С. Обґрунтування вибору матеріалів антифрикційних зносостійких покриттів деталей триботехнічного призначення. У статті наведені дані досліджень фізико-механічних властивостей зносостійких антифрикційних покриттів з титану, нітриду титану, карбіду бору, латуні і міді, легованої дисульфідом молибдену. Розглянуто можливість застосування таких покриттів для деталей пар тертя колійних машин. Встановлено, що найбільш повно умовам експлуатації деталей колійних машин відповідають двошарові покриття, що складаються із зносостійкого шару TiN і антифрикційного $\text{Cu} + \text{MoS}_2$.

Ключові слова: пара тертя, відновлення, антифрикційне зносостійке покриття, триботехнічні властивості.

Timofeyev S. S. The substantiation of the choice of materials for anti-friction wear-resistant coatings of tribo-engineering details. The article presents data of the research of physical-mechanical properties of wear-resistant anti-friction coating made of titanium nitride, titanium, boron carbide, brass and copper alloyed with molybdenum disulfide. The possibility of applying such coatings for friction pairs of track machines has been considered. It has been determined that two-layer coatings consisting of wear-resistant anti-friction coatings TiN and $\text{Cu} + \text{MoS}_2$ meet operating conditions of track machine parts most fully.

Key words: friction pair, reworking, anti-friction wear-resistant coating, tribo-engineering properties.

Рецензент д.т.н., професор Геворкян Е.С. (УкрДУЗТ)

Поступила 06.03.2015г.