

рам запрессовочные, распрессовочные и осалочные штамповые вставки, применяемые при сборке шарнирных соединений, обеспечивают более чем в 3 раза высокую стойкость по сравнению со штампами без ХТО. После боросилицирования фильеры для протягивания металлопроката круглого сечения также показывают увеличение стойкости не менее чем в 3 раза.

### Литература

1. Григоров, П.К. Методика определения хрупкости борированного слоя / П.К. Григоров, А.И. Катханов. // В кн.: Повышение надежности и долговечности деталей машин. – Ростов н/Д, 1972. – Вып. 16.

УДК 621.357

## ТЕХНОЛОГИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

О.В. Шумов

*УО «Полоцкий государственный университет», Новополоцк*

**Введение.** Материалы на основе меди в настоящее время широко используются для получения защитных покрытий на рабочих поверхностях деталей машин. Это объясняется их высокой теплопроводностью, низким коэффициентом трения, хорошей прирабатываемостью и т.д. [1, 2]. Однако высокая стоимость защитных покрытий на основе меди в значительной степени ограничивает их применение. Продление службы таких покрытий за счет повышения их износостойкости является актуальной задачей.

**Постановка задачи.** Анализ существующих способов упрочнения позволил сделать вывод, что повысить износостойкость деталей возможно при нанесении гетерогенных гальванических покрытий на основе меди, легированных различными элементами (фосфором, кремнием, цинком, оловом и др.) [3, 4].

Так, легирование оловом обеспечивает получение высокого комплекса физико-механических свойств получаемого покрытия, но существенно повышает его стоимость. Таким образом, задачей данного исследования является разработка технологии получения износостойких гетерогенных безоловянистых покрытий на основе меди.

**Результаты и их обсуждение.** Повышение износостойкости покрытий в большинстве случаев достигается за счет повышения их эксплуатационных свойств: повышения твердости покрытий и прочности сцепления с основой, снижения коэффициента трения. При диффузионном насыще-

нии легирующими элементами в процессе ХТО эксплуатационные свойства покрытий повышаются в результате:

– подготовки упрочняемой поверхности и термической обработки, обеспечивающих образование диффузионного слоя на границе «покрытие – основа» и повышение прочности сцепления с основой;

– легирования покрытий в процессе термической обработки, образования твердых растворов и упрочняющих фаз (боридов, фосфидов, карбидов, нитридов и т.п.), обеспечивающих повышение твердости;

– синтеза самосмазывающих фаз (сульфидов, фосфидов, цинкатов, фосфатов и т.п.), обеспечивающих снижение коэффициента трения.

Для реализации перечисленных процессов при диффузионном легировании была разработана технология синтеза износостойких гетерогенных покрытий на основе меди. Технология заключается в осаждении гальванических медных покрытий, содержащих легкоплавкие металлические включения, и последующей термической обработке. При этом за счет предварительной подготовки металлические включения формируются такого состава, чтобы они содержали необходимые легирующие элементы. Кроме того, легирующие элементы подбирались таким образом, чтобы обеспечить сокращение времени термической обработки в результате увеличения скорости процессов диффузии.

Так как легирующие элементы оказывают различное влияние на эксплуатационные свойства покрытий, то их подбор для обеспечения наибольшей износостойкости осуществлялся на основе априорного ранжирования. Результаты ранжирования позволили сделать заключение, что наиболее оптимального сочетания эксплуатационных свойств возможно достичь при легировании медной основы цинком и фосфором.

Для оценки возможностей реализации предложенной технологии на образцы из стали 10 были осаждены гальванические покрытия на основе меди с мелкодисперсными включениями фосфата цинка, а также покрытия на основе меди с мелкодисперсными включениями системы цинк – фосфат цинка толщиной 50 мкм. Образцы с покрытиями были подвергнуты отжигу при температуре 250...550 °С в электрической печи в течение 0,5...1,5 ч.

После отжига образцы с гальваническими покрытиями на основе меди с обоими типами включений были подвергнуты испытаниям на износостойкость. Также для сравнения испытывались на износостойкость образцы из оловянистой бронзы (БрОФ-10-1). Сравнительные результаты испытаний на износостойкость защитных покрытий приведены на рисунке.

Как следует из приведенных результатов, минимальную износостойкость для данных условий испытаний имеют покрытия на основе меди с включениями фосфата цинка, максимальную – образцы из оловянистой

бронзы. При этом покрытия на основе меди с включениями цинк – фосфат показали достаточно высокую износостойкость, незначительно (менее чем на 10 %) уступающую износостойкости оловянистой бронзы.

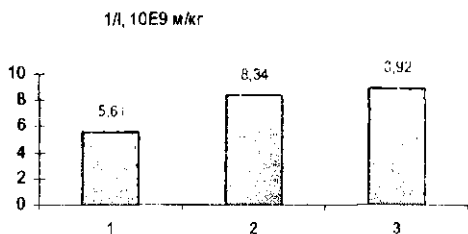


Рис. Износостойкость ( $1/l$ , где  $l$  – массовый износ покрытия): 1 – покрытие на основе меди с включениями фосфата цинка; 2 – покрытие на основе меди с включениями цинк – фосфат цинка; 3 – оловянистой бронзы

При этом технологические режимы получения износостойких гетерогенных безоловянистых покрытий на основе меди не были оптимизированы по критерию максимальной износостойкости. Таким образом, можно предположить, что износостойкость этих покрытий может быть значительно увеличена за счет оптимизации технологических режимов их получения.

### Выводы

1. Была разработана технология получения износостойких гетерогенных безоловянистых покрытий на основе меди. Технология включает осаждение гальванических медных покрытий, содержащих легкоплавкие металлические включения, и последующую термическую обработку.

2. Покрытия на основе меди с включениями цинк – фосфат показали достаточно высокую износостойкость, сопоставимую с износостойкостью оловянистых бронз. Таким образом, данные покрытия при соответствующих условиях могут заменить дорогостоящие оловянистые бронзы.

### Литература

1. Елизаветин, М.А. Повышение надежности машин / М.А. Елизаветин. – М.: Машиностроение, 1973. – 430 с.
2. Поляк, М.С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения. В 2-х т. Т. 1. / М.С. Поляк. – М.: Машиностроение, 1995. – 531 с.
3. Ковенский, И.М. Металловедение покрытий: учеб. для вузов / И.М. Ковенский, В.В. Поветкин. – М.: Интермет Инжиниринг, 1999. – 296 с.
4. Дасоян, М.А. Технология электрохимических покрытий / М.А. Дасоян, И.Я. Пальмская, Е.В. Сахарова. – М.: Машиностроение, 1989. – 391 с.

## ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

О.В. Шумов

УО «Полоцкий государственный университет», Новополоцк

**Введение.** Для получения антифрикционных покрытий в настоящее время широко применяются материалы на основе меди [1]. Для повышения физико-механических свойств медных покрытий их легируют различными элементами, например, фосфором, кремнием, цинком, оловом и др. [2]. Актуальной проблемой для предприятий является увеличение срока службы таких покрытий, так как решение этой проблемы позволит сэкономить значительные материальные ресурсы.

**Постановка задачи.** С целью повышения срока службы деталей машин была разработана технология получения износостойких гетерогенных безоловянистых покрытий на основе меди. Вместе с тем процессы формирования таких покрытий изучены недостаточно, что не позволяет предложить оптимальные режимы получения покрытий, обеспечивающих максимальные значения износостойкости. Таким образом, задачей работы является исследование процессов формирования износостойких гетерогенных безоловянистых покрытий на основе меди.

**Результаты и их обсуждение.** В работе [3] были изучены процессы формирования гальванических никелевых покрытий с диффузионным легированием цинком и фосфором. Установлено, что образование твердых фаз – твердых растворов и фосфидов легирующих элементов в никелевой основе – происходит при наличии легкоплавких включений в насыщающих фазах.

На основании анализа диаграмм состояния сплавов было сделано предположение, что для гальванических покрытий на основе меди те же легирующие элементы – цинк и фосфор – способны обеспечить формирование твердых или антифрикционных фаз. С медью указанные легирующие элементы позволяют получить фазы, плавящиеся при более низкой температуре, чем с никелем. По этой причине в покрытиях на основе меди будут созданы условия для образования жидкой фазы и увеличения скорости процессов диффузии легирующих элементов при более низких температурах термической обработки. Таким образом, кроме высоких эксплуатационных свойств гальванических покрытий на основе меди следует также ожидать сокращения продолжительности и снижения температурных интервалов термической обработки при получении износостойких покрытий за счет этого упрощения технологии и снижения себестоимости их получения.