
УДК 621.793.6:669.35

СОЗДАНИЕ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА МЕДНЫХ СПЛАВАХ В УСЛОВИЯХ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ УЗЛОВ ТРЕНИЯ

д.т.н., проф. Б.П. Серeda, асп. Д.О. Кругляк
Запорожская государственная инженерная академия

Введение. Выбор конструкционных материалов деталей узлов трения при стремлении к высоким эксплуатационным характеристикам представляет собой одну из базовых проблем машиностроения. Основным является отбор известных и создание новых материалов, обладающих оптимальными для данного узла трения характеристиками, обеспечивающими необходимый ресурс. При этом, помимо достижения необходимых эксплуатационных свойств, требуется учитывать экономические соображения исходя из рыночных условий.

В связи с этим важно, чтобы материалы узлов трения создавались из доступных недефицитных компонентов с использованием технологий, не требующих нестандартного оборудования, высокого вакуума, криогенных температур и дорогостоящих мероприятий.

При выборе материалов узлов трения должна учитываться их совместимость, в особенности использование схватывания и последующего задира, что связано с химическим сродством, близостью строения и значений параметров кристаллических решеток. В более общей форме под совместимостью понимают способность материалов обеспечивать оптимальные параметры узла трения при длительной эксплуатации, быстро приспосабливаться к резким изменениям нагрузки, скорости и температуры при неблагоприятных условиях смазки.

Изменить свойства поверхности в необходимом направлении можно различными способами. Их можно условно разделить на два вида:

1. Нанесение на поверхность нового материала с необходимыми свойствами;
2. Изменение состава поверхностного слоя металла (бором, титаном, вольфрамом), обеспечивающего желаемое изменение свойств.

Материалы и методы исследований. Одним из наиболее эффективных методов создания покрытий, обладающих высокими механическими и физико-химическими свойствами, является диффузионное поверхностное легирование металла в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [1].

Исходными материалами для исследования служили сплавы на основе меди: БрАЖМц-10-3-1,5, БрАЖ-9-4, БрАМц-9-2, ЛМцЖ-55-4. В качестве насыщающей среды использовали смесь порошков следующих материалов: оксида хрома (Cr_2O_3), оксида алюминия (Al_2O_3), металлических молибдена и алюминия, хлорида аммония (NH_4Cl) и йода (I_2). Обработку проводили при температурах 800...1000 °С в течение 0,5...1,5 ч.

Результаты исследований и их обсуждение. На основании анализа требований, предъявляемых к покрытиям на сплавах меди и способам насыщения металлов для получения защитных покрытий, выбрали диффузионный метод поверхностного насыщения из твердой фазы в активной газовой среде. Этот метод обеспечивает высокое качество поверхности, является наиболее простым и удобным в лабораторной практике, хорошо воспроизводимым в условиях производства и не требует специального сложного оборудования для своего осуществления.

Эффект, наблюдаемый при насыщении образцов кремнием отдельно или совместно с другими элементами и указывающий на неравенство потоков атомов меди и легирующих компонентов, диффундирующих в противоположных направлениях, свидетельствует о вакансионном механизме диффузии при химико-термической обработке медных сплавов. Показано, что образование защитного слоя осуществляется встречной диффузией элементов через решетку образующихся фаз, то есть наращивание диффузионной зоны происходит одновременно с обеих сторон.

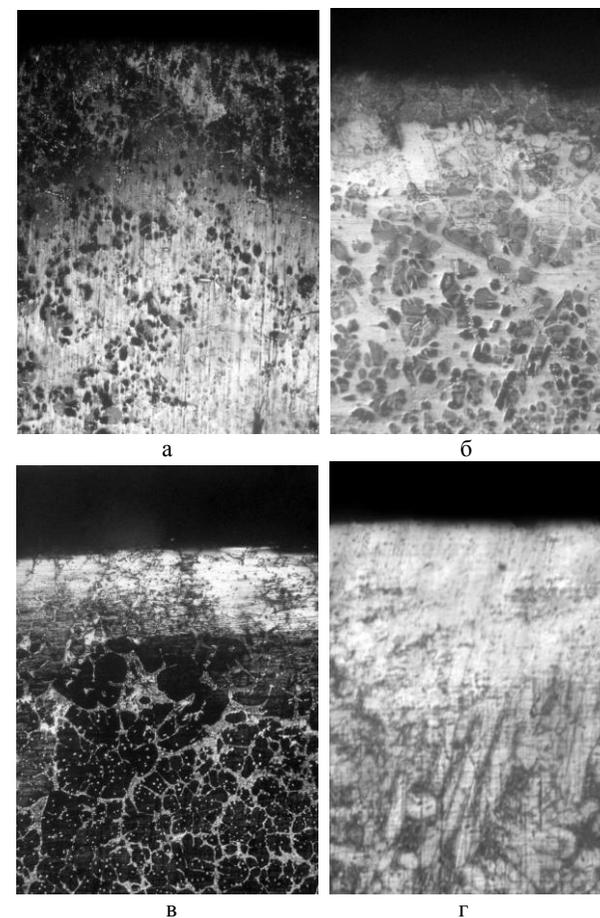
Защита сплавов на основе меди путем их химико-термической обработки оказывается не только перспективным, но иногда и единственно возможным способом получения изделий с необходимым комплексом эксплуатационных свойств, повышенных значений механической прочности, коррозионной стойкости, сопротивления истиранию и окислению при высоких температурах с сохранением основных качеств сплавов на основе меди – высокой электро- и теплопроводности. Большое преимущество имеет насыщение поверхности сплавов одновременно несколькими элементами, что позволяет получать, как правило, более существенное улучшение свойств поверхностного слоя [2].

На основании анализа реакций, проходящих при химико-термической обработке в режиме теплового самовоспламенения порошковой смеси, а также результатов экспериментов и металлографических исследований, получили схему образования упрочненных слоев на медных сплавах. Этот процесс условно можно разделить на несколько стадий. Сначала реакционную смесь нагревают в печи до температуры воспламенения, то есть она проходит так называемую стадию инертного нагрева. Затем происходит взаимодействие между порошками оксидов хрома, алюминия, а также молибдена, алюминия и кремния, при этом температура в реакторе повышается до максимальной величины – стадия теплового самовоспламенения. На третьей стадии – стадии прогрева изделий – происходит выравнивание температуры по объему реактора, на которой активные атомы кремния, молибдена и других элементов начинают диффундировать в подложку. На следующей стадии – стадии изотермической выдержки – происходит дальнейший диффузионный рост покрытия.

В результате диффузионного поверхностного насыщения в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза были получены алюмосилицированные, никельхромовые, алюмоникелевые и титаносилицированные покрытия на медных сплавах (рис. 1). При этом максимальная толщина покрытий составляла 10...65 мкм. Измерение геометрических размеров образцов проводили до и после химико-термической обработки. Микрострук-

туру полученных покрытий исследовали на микроскопе «Neophot-2».

Отличия в качестве поверхности, структуре, фазовом, составе, микро-твердости и содержании легирующих элементов в диффузионных слоях на сплавах определяются температурой процесса, временем выдержки и составом СВС-смеси. Режим теплового самовоспламенения, характеризующийся небольшой длительностью, рекомендуется использовать вместо традиционных способов химико-термической обработки сплавов меди (азотирования, хромирования и др.).



а – БрАМц-9-2; б –ЛМцЖ-55-4; в – БрАЖ-9-4; г – БрАЖМц-10-3-1,5.

Рис. 1 Микроструктуры алюмосилицированного (а), титаносилицированного (б), алюминоникелевого (в) и никельхромового (г) покрытий на медных сплавах, полученных в условиях СВС, $\times 200$

Совместное насыщение образцов алюминием, кремнием и никелем приводит к появлению диффузионного слоя, имеющего четкую границу раздела с основанием. Светлые столбчатые зерна α -фазы вытянуты в направлении максимальной скорости диффузии. Микротвердость α -твердого раствора изменяется от 74,2 кг/мм² на границе со сплавом до 190 кг/мм² у поверхности образца. Микротвердость механической смеси, расположенной между зернами α -фазы, изменяется от 140 до 230 кг/мм² по направлению к поверхности образца.

Рентгеноструктурный анализ показал, что кроме α -твердого раствора алюминия и никеля в сплавах на основе меди в диффузионном слое имеются следующие фазы Cu_9Al_4 , NiAl , Ni_3Al .

Окалиностойкость образцов, насыщенных алюминием, кремнием и никелем одновременно, во много раз превосходит сопротивление окислению чистого сплава. Так, при испытании в течение 12 ч привес диффузионно-насыщенных образцов в 6 раз меньше. Микроструктура диффузионного слоя после испытаний сохраняет столбчатые вытянутые зерна α -фазы и значительное количество механической смеси фаз, но общая глубина слоя несколько увеличивается. Наличие жаропрочных химических соединений в диффузионном слое, таких как NiAl , должно способствовать повышению жаропрочности образцов [3].

Влияние диффузионного легирования алюминием, кремнием и никелем на износостойкость сплавов на основе меди определяли на универсальной машине МИ-1М в условиях сухого трения качения под нагрузкой 25 кг [4]. Были приняты следующие условия трения, соответствующие условиям эксплуатации узлов: $V_{\text{ск}} = 1,5$ м/с, $P = 0,8$ МПа. Поведение диффузионно-насыщенных образцов в условиях испытаний на износ показало перспективность поверхностного легирования как метода повышения износостойкости сплавов меди, а также для условий работы механизмов оптимальная толщина защитного покрытия на деталях, подвергающихся изнашиванию, составляет 0,02 – 0,09 мм.

При помощи механических испытаний на сжатие установлено, что роль диффузионного слоя не ограничивается только функциями защиты поверхности образцов, но оказывает существенное влияние на ее объемные свойства. Диффузионное насыщение сплавов алюминием и никелем повышает предел прочности при сжатии на 52 %.

Следовательно, диффузионное насыщение сплавов алюминием и никелем повышает такие свойства бронз и латуней, как окалиностойкость, сопротивление износу и механическую прочность [5], и может использоваться в промышленности с целью увеличения надежности и долговечности медных изделий.

Исследованиями надежности механизмов установлено, что в большинстве случаев быстрый износ деталей, изготовленных из бронзы БрАЖ-9-4

(втулки, шестерни), происходит из-за шероховатости сопряженной детали, изготовленной из Ст.45 или 40Х. Наибольший износ бронзовых деталей происходит в период приработки, в течение которого величина прирабочного износа может составить 60-70 % общего допуска на износ.

На установке для испытания материалов на истирание выполнены исследования влияния никелевого покрытия на износ образцов ($V_{ск} = 2,5$ м/с, $P = 1,0$ МПа). В качестве контртела использовали бруски из быстрорежущей стали Р6М5, закаленные до твердости HRC 62 – 65. Испытаниям подвергали две партии образцов по 10 штук каждая: первая партия без покрытия, вторая с никелевым и силицированным покрытием толщиной 10 - 65 мкм. За критерий износа была принята способность обработанной поверхности испытываемых образцов сопротивляться истиранию, которая оценивалась промежутком времени от начала испытаний до появления на диаграммной ленте самописца всплесков, вызванных процессом схватывания материала образца и контртела.

Выводы

Применение никелирования позволяет в 1,5 – 2 раза повысить износостойкость образцов вследствие уменьшения коэффициента трения. При этом улучшаются статические показатели сопротивляемости поверхностей образцов истиранию. Анализ показывает, что применение на образцах никелевого покрытия способствует повышению надежности изделия в целом.

Таким образом, выполненные исследования указывают на перспективность применения силицирования и никелирования в качестве эффективных триботехнических покрытий. При этом в процессе механической обработки деталей узлов трения необходимо обеспечить припуск на толщину наносимого покрытия.

Использованная литература

1. Серета Б.П., Кругляк І.В., Жеребцов О.А., Белоконь Ю.О. Обробка металів тиском при нестационарних температурних умовах. – Запоріжжя: Вид-во ЗДІА, 2009 – 252 с.
2. Серета Б.П., Калініна Н.С., Кругляк І.В. Поверхнєве зміцнення матеріалів: Монографія. – Запоріжжя: Вид-во ЗДІА, 2004. – 230 с.
3. Серета Б.П. Матеріалознавство та термічна обробка чорних та кольорових металів. – Запоріжжя, 2007. – 300 с.
4. Ямпольский А.М., Ильин В.А. Краткий справочник гальванотехника. – М.: Машиностроение, 1983. – 210 с.
5. Титлянов А. Е., Радюк А. Т., Кузнецов В. Е. Создание износостойких слоев на медных изделиях // *Материаловедение*. – 1998. – № 12. – С. 42-44.