

Т. Е. ДОРОГАНЬ, Д. В. ГЕРАСИМЕНКО (ДИИТ)

## ПОКРЫТИЯ СПЛАВАМИ ХРОМА С МОЛИБДЕНОМ И ВОЛЬФРАМОМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ УЗЛОВ МАШИН

Досліджено фазовий склад електроосаджених зносостійких покриттів сплавами хрому з молибденом і вольфрамом. Основні результати роботи можна використовувати у машинобудуванні для збільшення терміну експлуатації вузлів, що працюють за умови високих питомих навантажень, а також для відновлення відпрацьованих деталей.

Исследован фазовый состав электроосажденных износостойких покрытий сплавами хрома с молибденом и вольфрамом. Основные результаты работы могут быть использованы в машиностроительном производстве для увеличения срока эксплуатации узлов, работающих при высоких удельных нагрузках, а также для восстановления изношенных деталей.

The article studies phase composition of electrically settled wear-proof coatings of the chromium alloys with tungsten and molybdenum. The basic finding may be applied in machine-building for increasing the service life of units, working under large specific loadings, and for the restoration of the worn-out parts.

Проблема повышения стойкости поверхности против износа и коррозии остро стоит в области модернизации и ремонта подвижного состава железнодорожной отрасли.

Проблема прочности тугоплавких металлов и сплавов представляет значительный теоретический интерес, так как она непосредственно связана с характером межатомной связи, особенностями движения и взаимодействия дефектов кристаллического строения. Создание оптимального комплекса механических свойств тугоплавких металлов невозможно в рамках классического металловедения и требует привлечения современных методов и представлений физики твердого тела. Экспериментально обнаружена четкая корреляция между изменением механических свойств и структурным состоянием, создаваемым в процессе пластической деформации, а также при термомеханической обработке.

Легирование в большинстве случаев направлено на создание двухфазных систем, в частности дисперсионно-упрочненных, с матрицей на основе тугоплавких металлов.

Создание дисперсионно-упрочненных систем, в которых мелкодисперсные фазы остаются физически и химически стабильными при высоких температурах, — один из наиболее перспективных путей повышения высокотемпературной длительной прочности тугоплавких металлов, в особенности группы хрома, где возможности твердорастворного упрочнения крайне ограничены.

Широко применяющиеся в настоящее время хромовые покрытия не обеспечивают необходимой долговечности изделий и требуемого качества поверхности. Легирование хрома тугоплавкими металлами позволяет повысить твердость, жаропрочность и износостойкость покрытий. Однако совместное электролитическое осаждение хрома с такими металлами, как молибден и вольфрам, встречает трудности вследствие гидролиза в кислой среде электролита солей этих металлов.

Предметом настоящего исследования являются двойные и тройные сплавы молибдена и вольфрама с хромом. Согласно различным литературным источникам обнаружены четыре аллотропических модификации хрома, однако, аллотропия надежно не доказана.

Согласно равновесной диаграмме состояний в системе Cr – Mo при 1350 °C находятся в равновесии два твердых раствора, причем со стороны хрома твердый раствор имеет гексагональную решетку ( $a = 0,2762$  нм;  $c = 0,4393$  нм). По термохимическим данным при 40 ат. % молибдена существует замкнутая область несмешивания. При 1400 °C наблюдали фазу с неизвестной структурой [1; 2].

В системе Cr – W полная взаимная растворимость наблюдается не во всем температурном интервале. При температурах ниже 1500 °C существует значительная область ограниченной растворимости в твердом состоянии. Содержание вольфрама в твердом растворе хрома при 1000 °C составляет около 20 вес. %. В равно-

весных условиях в системе Cr–W в диффузионных парах при 1350 °С наблюдали тетрагональную фазу примерного состава Cr<sub>3</sub>W ( $a = 0,3117$  нм;  $c = 0,3189$  нм) [1; 2].

В условиях электрокристаллизации сплавов известные методы не обеспечивают выделения молибдена и вольфрама в количестве свыше 1...3 %. Поэтому была поставлена задача получения сплавов с повышенным содержанием тугоплавкого компонента за счет совершенствования технологии нанесения покрытий; получение покрытий более высокой твердости и износостойкости; устранение загрязнения рабочего раствора соединениями свинца и трехвалентного хрома; работоспособность в широком интервале концентраций компонентов, что позволит уменьшить частоту корректировок.

Нами разработана технология гальванического нанесения покрытий сплавами Cr–Mo, Cr–W, Cr–Mo–W, включающая серию электролитов на базе сернокислых растворов, применяющихся для твердого хромирования, и специфический способ их проработки.

Исследование структуры сплавов проведено методами рентгеноструктурного анализа и растровой электронной микроскопии. Установлено, что нелегированные покрытия хромом имели объемно центрированную кристаллическую решетку с периодом  $a = 0,2872$  нм и твердость 9 000...10 000 МПа. Покрытия сплавами Cr–Mo с содержанием молибдена до 3 %, имели однофазную структуру твердого раствора на основе ОЦК–хрома, а свыше 3 % молибдена были двухфазными. Сплавы Cr–W также имели гетерофазную структуру.

Наиболее высокой твердостью и износостойкостью обладали сплавы Cr–Mo–W с содержанием вольфрама до 3 % и молибдена до 8 %. Указанные сплавы состояли из твердого раствора на основе ОЦК–хрома ( $a = 0,2883$  нм) и неравновесной фазы 1 с гексагональной решеткой типа Co<sub>3</sub>W (D019) (табл. 1).

Как показано на рисунке, неравновесная фаза кристаллизовалась в виде ориентированных зерен, объединенных в сферические агрегаты или линейные цепочки.

С целью исследования износостойкости покрытия наносили на поверхность прокатного инструмента, изготовленного из стали 60С2ХФА, и опробовали в производственных условиях.

Рентгеновские исследования поверхности оправок после деформации указывают на появление текстуры в направлении (211) и образование вторичной структуры (фаза 2) предположительно гексагонального строения.

Таблица 1

Межплоскостные расстояния неравновесных фаз в сплавах Cr–Mo–W

Фаза 1		Фаза 2	
№ п/п	$d/n$ , нм	№ п/п	$d/n$ , нм
1	0,2227	1	0,2578
2	0,2087	2	0,2396
3	0,2076	3	0,2056
4	0,1800	4	0,1668
5	0,1613	–	–
6	0,1268	–	–
7	0,1249	–	–
8	0,1082	–	–
9	0,0999	–	–

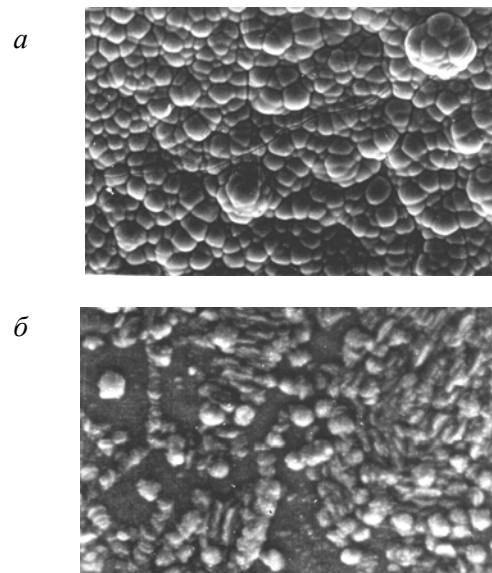


Рис. Топология поверхности покрытий сплавами: а – Cr–W; б – Cr–Mo–W

Твердость покрытий сплавом Cr–Mo–W повышалась с увеличением содержания в них молибдена, причем в результате эксплуатации отмечено значительное деформационное упрочнение поверхности покрытий (табл. 2).

Стойкость инструмента по сравнению с борированным или хромированным, подготовленным по общепринятым технологиям, увеличивалась в 2...5 раз [3; 4].

Согласно послойным замерам на косых шлифах твердость покрытий является осциллирующей функцией с периодом порядка 30 мкм и зависит от удаленности слоя от подложки, что можно объяснить неравномерностью протекания фазовых превращений.

Таблица 2

**Твердость покрытий Cr – Mo – W  
на грубом инструменте до и после прокатки**

Микротвердость, МПа		Mo, %	Количество проката, полученного на 1 оправке (ХПТР), м	Степень упрочнения, %
Начальная	После прокатки			
10 000	12 000	0	250	20
12 000	16 000	3	380	30
15 000	20 000	8	1 500	33

Наиболее высокой износостойкостью и повышенной трещиностойкостью обладали покрытия, отожженные в течение одного часа при температуре 300...400 °С, что связано со снятием внутренних напряжений и ростом преципитатов.

**Выводы**

Результаты работы демонстрируют технологичность и простоту предложенного метода

нанесения тройных покрытий сплавами на основе хрома. Легирование тугоплавкими металлами обеспечило значительное повышение прочностных свойств поверхности детали. Поэтому результаты работы следует рассматривать как перспективные для применения в вагоностроительном производстве с целью модернизации и ремонта подвижного состава.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Хансен М. Структура двойных сплавов / М. Хансен, К. Андерко. – М.: Metallurgizdat, 1962. – Т 1, 2.
2. Pearson W. A Handbook of Lattice Spacings. – London, 1958. – P.753.
3. Власов В. М. Работоспособность упрочненных трущихся поверхностей. – М.: Машиностроение, 1987. – 219 с .
4. Михайлов А. А. Обработка деталей с гальваническими покрытиями. – М.: Машиностроение, 1981. – 145 с.

Направлена в редколлегию 11.05.06.