

ИЗНОСОСТОЙКОЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ПОКРЫТИЕ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**Бегун Л.В., студентка; Балакай И.В., аспирант;
Балакай В.И., зав. каф., профессор, д.т.н.; Кукоз Ф.И., профессор, д.т.н.**
*(Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт), г. Новочеркасск, Россия)*

Традиционный процесс хромирования позволяет получать твердые хромовые покрытия, обладающие хорошими физико-механическими свойствами, такими, как коррозионная стойкость, износостойкость, твердость и низкий коэффициент трения. Однако электролиты хромирования на основе солей шестивалентного хрома обладают серьезными недостатками. К ним относятся: очень низкая рассеивающая способность (РС), высокая токсичность электролитов хромирования, низкий выход по току (Вт) хрома, снижение твердости при повышенных температурах.

В последнее время интенсивно разрабатываются технологии электролитического нанесения сплавов никеля с бором, индием, фосфором, способных заменить хромовые покрытия. Такие покрытия должны иметь низкий коэффициент трения, высокую износостойкость, достаточную защитную способность в различных условиях эксплуатации.

С использованием метода математического планирования экстремальных экспериментов Бокса-Уилсона разработан хлоридный электролит для нанесения износостойкого сплава никель-бор взамен хрома состава, г/л: хлорид никеля шестиводный 200 – 250, сульфат никеля семиводный 2,5 – 5,0, борная кислота 25 – 45, хлорамин Б 1,0 – 2,5, боросодержащая добавка (БСД) 2,5 – 4,5. Режимы электролиза: рН 1,0 – 5,5, температура 18 – 40 °С, катодная плотность тока 0,5 – 10 А/дм², Вт хрома 95 – 98 %. Осадки блестящие, мелкокристаллические, пластичные, хорошо сцепленные с основой из стали, меди и ее сплавов, практически беспористые уже при толщине 3 – 5 мкм.

РС электролитов для нанесения сплава никель-бор значительно превышает РС стандартных широко используемых в промышленности электролитов хромирования, что позволяет получать более равномерные покрытия по всей поверхности электроосаждаемых изделий.

Микротвердость покрытий сплавом никель-бор может достигать до 8 – 9 ГПа, что приближается к среднему значению для хромовых покрытий из стандартного электролита хромирования 10 – 11 ГПа. Микротвердость покрытий сплавом возрастает при термообработке. Максимум микротвердости приходится на покрытия, термообработанные при температуре 300 – 400 °С (14 – 15 ГПа). При температуре термообработки 200 и 500 °С микротвердость значительно ниже.

Рентгеноструктурные исследования показали, что оптимальный по микротвердости сплав, полученный без термообработки, содержит фазу Ni₃B, в

процессе термообработки при температуре 300 – 400 °С она переходит в фазу Ni_3B , а при повышении температуры обработки эта фаза приобретает текстуру.

Известно, что хромирование наиболее эффективно при работе деталей с удельными нагрузками не более 250 – 300 МПа в условиях смазки. Сравнительные испытания на износостойкость покрытий хромом и сплавом никель-бор в паре со сталью Ст 45 с применением 3 % смазки СОЖ РВ-2 показали, что суммарный износ обеих пар практически одинаков. Коэффициент трения составляет 0,8 для покрытий хромом и 0,78 – для покрытий сплавом никель-бор.

Коэффициент сухого трения для пары электроосажденный сплав – сталь Ст 45 составляет 0,22 – 0,36 при нагрузке 10 – 100 МПа.

Состав электролита и режимы электролиза влияют на свойства покрытий и электролита. Так с увеличением концентрации хлорида никеля от 50 до 250 г/л Вт увеличивается и приближается к 98 %. Однако содержание бора в сплаве при этом уменьшается и при концентрации хлорида никеля 250 г/л примерно составляет 0,5 – 2,8 %. При этом микротвердость и внутренние напряжения (V_n) покрытий также изменяются в зависимости от концентрации хлорида никеля. Вид и качество осадков при этом существенно не меняются.

Состав сплава зависит от концентрации БСД. Однако с точки зрения получения максимальной микротвердости нет необходимости добиваться высокого содержания бора в сплаве. При содержании бора 1,5 – 3 % покрытия получают зеркально блестящими и достаточно эластичны, причем такие качества сохраняются даже при толщине порядка 50 мкм. С дальнейшим увеличением содержания бора в сплаве покрытия постепенно теряют блеск и становятся шероховатыми. На состав и свойства осадков влияет температура электролита. Вт сплава никель-бор с повышением температуры возрастает до 97 % и в дальнейшем остается постоянным. Максимальное значение микротвердости наблюдается в области температур 25 – 35 °С, причем содержание бора в покрытии при этом составляет примерно 2,5 – 3,0 %.

Влияние рН электролита на состав и свойства осадков исследовали в области рН 1,0 – 5,5. С изменением рН от 1,0 до 3,5 Вт возрастает от 83 до 98 % и при дальнейшем увеличении рН остается постоянным. Микротвердость покрытий с повышением рН также вначале повышается, а затем снижается. Максимум микротвердости наблюдается при рН 2,5 – 3,0.

Сплавы никель-бор после термообработки можно рассматривать как композиционные эвтектические структуры, подобные легированным сталям, в которых твердая боридная фаза равномерно распределена среди фазы пластичного никеля. Как показывают результаты испытаний, износостойкость покрытий увеличивается с повышением содержания бора в сплаве, что связано с повышением твердой боридной составляющей. Для сплавов с низким содержанием бора (1 мас. %) это связано с образованием бориды Ni_3B , для сплавов с высоким содержанием бора (4 – 5 мас. %) – Ni_2B . Таким образом, износостойкость покрытий сплавом никель-бор после термообработки значительно превышает эту величину для эталонных образцов из различных сталей. Для покрытия без термообработки величина износа примерно такого же порядка, что и для стали Ст 40х и несколько выше, чем для стали Ст 45.

Следует отметить, что зависимость износа от времени работы для нетермообработанных покрытий отклоняется от прямолинейной зависимости. Такой характер можно объяснить тем, что в процессе работы в зоне трения температура повышается и достигает величин, достаточных для образования борида; вследствие этого в процессе работы износостойкость увеличивается. В частности, замер температуры в зоне трения показал, что она повышается в зависимости от нагрузки и составляет 120 – 200 °С, что достаточно для образования фазы (Ni_3B , Ni_2B), а вследствие этого повышения микротвердости и износостойкости.

Увеличение удельных нагрузок от 20 до 80 кг/см² приводит к повышению износа покрытий на основе сплава никель-бор, причем для покрытий с низким содержанием бора износ возрастает значительно быстрее, чем для покрытий с высоким содержанием бора в покрытиях.

Как показали исследования, в условиях абразивного износа большему изнашиванию подвергаются покрытия, содержащие меньшее количество бора в сплаве, т.е. которые по своему составу представляют собой смесь кристаллов никеля и борида Ni_3B . Можно полагать, что значительное количество боридной фазы при этом составе покрытия приводит к тому, что под действием абразивных частиц более интенсивному износу подвергается в первую очередь более пластичная составляющая – фаза никеля. Это облегчает протекание следующего этапа – выкрашивания хрупкого борида. Причем, с повышением удельных нагрузок интенсивность износа значительно повышается. Осадки с более высоким содержанием боридных фаз (3 – 5 мас. %) меньше подвергаются абразивному износу, как в области низких удельных нагрузок, так и высоких. Однако интересно отметить, что при низких удельных нагрузках меньше подвержены износу покрытия с содержанием бора 5 мас. %. А с повышением нагрузок интенсивность их износа возрастает значительно быстрее, чем у покрытий с содержанием бора 2 мас. %. Это позволяет заключить, что в условиях абразивного износа при малых нагрузках интенсивность износа определяется количеством твердой фазы, и пластическая деформация матрицы играет меньшую роль. При увеличении удельных нагрузок покрытия с высоким содержанием бора 5 мас. %, а, следовательно, с более высоким содержанием боридной фазы, подвержены более значительному износу за счет хрупкого выкрашивания боридов, которые, попадая в зону трения, способствуют усилению износа.

Технико-экономический анализ процесса нанесения сплава никель-бор по сравнению с износостойким хромированием показал, что нанесение покрытий сплавом взамен хромовых покрытий позволяет получить значительный экономический эффект за счет исключения подогрева и поддержания температуры электролита, снижения напряжения на ванне и увеличения рассеивающей способности электролита, выхода по току для осаждаемого металла. На основную часть экономического эффекта составляют снижение затрат на нейтрализацию сточных вод и исключение необходимости строительства индивидуальных очистных сооружений для хромсодержащих стоков, уменьшаются также затраты электроэнергии на вентиляцию, а также улучшаются условия труда рабочих.