

кристаллическую решетку железа, вызывает при этом локальные ее искажения, приводя к снижению подвижности дислокаций, и, следовательно, способствует упрочнению сплава. Некоторое снижение микротвердости при более высоком содержании бора, по-видимому, связано с более равномерным распределением бора по всему объёму покрытия и, соответственно, с уменьшением разницы концентрации бора в дефектах и совершенных областях решетки, что приводит к ослаблению блокировки дислокаций.

Было изучено влияние прогрева в инертной атмосфере при различных температурах на микротвердость железа и сплава железо-бор. Термическая обработка пленочных покрытий Fe-B, содержащих бора до 17,5 ат.%, приводит к некоторому увеличению H_{50} , что объясняется упорядочением структуры сплавов. Микротвердость покрытий, содержащих 25 и 30 ат.% бора, после прогрева при 550°C повышается от 2,7 до 6,2 и от 2,4 до 7,4 ГПа соответственно. Рост микротвердости в данном случае обусловлен образованием при термообработке при этих условиях фазы борида железа. Заметим, что после термической обработки исследовавшихся образцов вздутий и отслаиваний покрытия от поверхности стали не наблюдалось, что указывает на высокую прочность сцепления осаждаемых покрытий к материалу основы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Glavec G.N., Klabunde K.J., Sorensen C.M., Hadjipanayis G.C. // *Langmuir*. - 1994. - Vol. 10. - №12. - P. 4726-4730.
2. Fan Y., Hu Z., Shen J., Yan Q., Chen Y. // *J. of Mater. Science*. - 1993. - №12. - P. 596-597.
3. Quintana P., Amono E. // *J. Appl. Phys.* - 1994. - Vol. 75. - P. 6940-6943.
4. Физико-химия аморфных (стеклообразных) металлических материалов. - М.: Наука, 1987. - 205 с.
5. Судзуки К., Фудзимори Х., Хасимото К. Аморфные материалы. - М.: Металлургия, 1987. - 538 с.
6. Мальцева Н.Н., Хаин В.С. Борогидрид натрия. - М.: Наука, 1985. - 207 с.

УДК 621.793

М.В. Гольцев, Г.К. Ильич, Л.Е. Реут

РАЗВИТИЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ОСНОВ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ МОДИФИКАЦИИ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛОВ

*Белорусский государственный медицинский университет
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Важнейшим требованием научно-технического и экономического развития на сегодняшний день является интенсификация приоритетных отраслей народного хо-

зайства: машиностроения, здравоохранения, радиоэлектроники и др. Это приводит к необходимости резкого увеличения из-за дефицитности и высоких цен износостойкости и долговечности специальных материалов, роста их эксплуатационной надежности и снижения энергоемкости производства.

Заметим, что только разделы здравоохранения: стоматология, офтальмохирургия, челюстно-лицевая хирургия испытывает потребность в массовом количестве инструментов и различных уплотнительно-соединительных элементов. При этом, к данным материалам при всем разнообразии их использования, предъявляются весьма противоречивые требования: прочность и деформируемость, твердость и формоустойчивость, износостойкость и фрикционная прочность. В тех случаях, когда надежность подобного инструментария определяется процессами происходящими на поверхности, одним из способов, эффективно изменяющем ее состояние, является обработка плазменными пучками ионов титана и циркония в среде азота.

Ионно-плазменный метод принятый нами для формирования поверхностных слоев, известный как метод КИБ (конденсация с ионной бомбардировкой) содержит два этапа: подготовку поверхности и синтез собственно упрочненного покрытия, которые включали следующие функциональные операции [1]: ионная бомбардировка поверхности конденсации в процессе формирования тонкопленочных покрытий из плазмы электродугового разряда производит очистку поверхности, ее активацию, образование промежуточного металлического подслоя и, в конечном счете, зарождение и рост пленки химических соединений типа нитридов, карбидов и т.п. Исследования показали, что структура, фазовый состав, прочность, геометрия и морфология поверхностного слоя существенным образом зависят от сорта ионов, потенциала смещения, тока дуги, концентрации ионов реакционного газа и времени обработки.

Объектами исследования служили титан и его сплавы ВТ1 и ВТ6, а также быстрорежущая Р6М5 и сталь 45 (модельный материал). Модификацию поверхности образцов осуществляли в установке типа «Булат» при потенциале смещения на подложке 100-1000В, что соответствовало энергии ионов металла 120эВ – 2 КэВ, токе горения дуг катодов 60-120А, что соответствовало плотности тока 5-22 мА/см², давления азота в камере 7.10⁻⁵ – 10⁻³ мм.рт.ст. Источниками ионов служили катоды из титана и циркония, причем обработка велась раздельно ионами Ti⁺ или Zr⁺, парами Ti⁺ + N⁺ или Zr⁺ + N⁺ и комплексно Ti⁺ + Zr⁺ + N⁺.

По результатам рентгеновских и микрорентгеноспектральных исследований установлено, что поверхностные слои образцов представляют нитриды TiN или ZrN, параметр решетки которых экстремально зависит от тока дуги соответственно Ti или Zr, т.е. от стехиометрического состава с максимальными значениями параметра решетки 0,424нм и 0,452 нм. Покрытие, синтезированное при одновременном воздействии ионов Ti, Zr и N, представляет тройной нитрид Ti_x – Zr_{x-1}N, со структурой твер-

дого раствора соответствующих нитридов типа NaCl. При этом концентрация Ti и Zr в покрытиях коррелирует содержанию их в плазменных потоках или плотности ионных токов соответствующих элементов катодов.

Так, как показали исследования, по мере увеличения тока электродугового разряда, плотность тока дуги увеличивается от 5мА/см² до 10мА/см² при работе двух катодов одновременно.

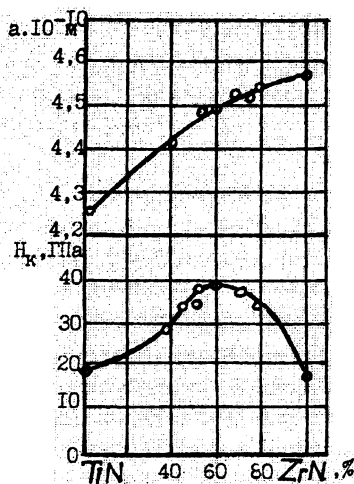


Рис. 1. Изменения параметра решетки a и микротвердости H_k в зависимости от концентрации компонентов в системе Ti-Zr-N

Как показали в дальнейшем триботехнические испытания, характеристики адгезионного изнашивания имеют хорошую корреляцию с химическим составом материала, а при абразивном изнашивании имеется связь между твердостью и износостойкостью материала [2].

Формирование металлического подслоя (первый этап) и синтез упрочняющего нитридного покрытия (второй этап) при ионно-плазменном методе сопровождаются образованием капельной фазы, которая как показали исследования, представляют собой металлические частицы материала катода. Общепринятая модель образования

Между подложкой и покрытием обнаружен подслоя из соответствующего металла: Ti, Zr или Ti-Zr- сплава. Микротвердость синтезированных покрытий, характеризующая их прочность, показала увеличение. Так упрочнение промежуточного металлического слоя возросло на 10-20% при токе дуги 100-120А. Следует отметить, что обработка поверхности подложки ионами титана приводит к более высоким степеням упрочнения, чем при облучении ионами циркония.

Характерной особенностью формирования покрытий типа нитридов титана и циркония является зависимость микротвердости, проходящей через максимум (рис. 1). При этом максимальные значения твердости TiN и ZrN соответствует двойным нитридам стехиометрического состава: 18,5ГПа и 16,5ГПа, на что указывают значения параметров кристаллической решетки, соответственно 0,424 и 0,452 нм. При синтезе тройных нитридов системы Ti-Zr-N последние образуют непрерывный ряд твердых растворов со структурой типа NaCl и максимальной микротвердостью 39ГПа при содержании TiN - 40-45% и ZrN - 55-60%.

капельной фазы на сегодняшний день сводится к предположению о местном перегреве материала катода в локальных областях в условиях горения электродугового

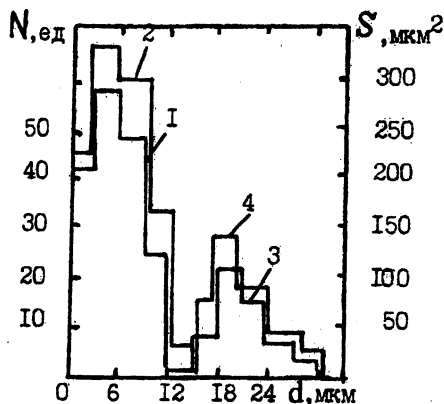


Рис.2. Гистограммы распределения капель (1,3) и их удельной поверхности(2,4) от размера частиц при токе 5 mA/cm^2 (1,2) и 20 mA/cm^2 (3,4)

При малых токах горения дуг образуются капли, имеющие форму сферы, это соответствует наибольшему значению удельной поверхности (рис. 2).

По мнению большинства исследователей наличие капельной фазы является нежелательным. Однако диалектика допускает и указывает на возможность перевода недостатка в преимущество способа. Так, например, из известных методов создания уплотнительных соединений точная подгонка контактирующих элементов, неразъемные соединения либо трудоемки, либо вообще неприемлемы. Наиболее перспективным методом является создание на одной из контактных пар разветвленной поверхности с использованием возможности регулирования удельной поверхности и объема изделий за счет осаждения фиксированной капельной фазы.

Итак, покрытия из двойных нитридов TiN и ZrN синтезируемые при плотностях ионного тока $\sim 5\text{-}10 \text{ mA/cm}^2$ содержат значительное количество капельной фазы из металлических компонент сплава и пор. Установлено, что увеличение плотности ионного тока, пропорционального плотности плазменного потока, приводит к разрушению капельной фазы непосредственно в плазменном потоке и уменьшению ее количества. При малых токах (5 mA/cm^2) капельная фаза присутствует в виде скоплений мелких ($5\text{-}10 \mu\text{m}$) капель, с ростом тока до 105 mA/cm^2 и более капли теряют сфериче-

разряда и не ренос микрочастиц металла на подложку. Подобная концепция с очевидностью приводит к выводу, а эксперименты подтверждают это, что распределение капель по размерам и их концентрация зависит в основном от величины тока горения дугового разряда. Анализ профилей распределения интенсивностей рентгеновского излучения $K_{\alpha 1}$ - линии титана и $L_{\alpha 1}$ - линии циркония по поверхности покрытий TiN , ZrN и Ti-Zr-N указывают на равномерное распределение элементов по поверхности покрытий. Распределение капель по размерам показало, что с ростом тока горения электродуговых разрядов доля капельной фазы увеличивается, увеличивается и размер капель.

скую форму (размер 10-30мкм), их количество уменьшается. Это дает возможность регулировать удельную поверхность и объема изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киселевский Л.И., Гольцев М.В. Особенности формирования поверхностных слоев при воздействии пучков ионов Ti и Zr // Доклады АН БССР. -т. XXXII. - №5. - 1988. - 404с. 2. Гольцев М.В. и др. Влияние состава ионно-плазменных покрытий на изменение триботехнических характеристик // Трение и износ. - 1997. - Т.18, №2. - С.240-243.

УДК 54.182:669.018.95

Н.А. Дубинский

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

*Витебский государственный технологический университет
Витебск, Беларусь*

Введение

В настоящее время все большее значение в технике приобретают композиционные материалы (КМ), получаемые путем совместного электрохимического осаждения металла и дисперсной фазы (ДФ) из электролитов-суспензий. Преимущества КМ перед обычными покрытиями, полученными из тех же электролитов, не содержащих ДФ, хорошо известны [1 - 4].

Нами КМ используются для изготовления оформляющих вставок литевых пресс-форм с требуемыми, заранее рассчитанными, распределением частиц и пористостью в объеме покрытия. Это позволяет обеспечить необходимые прочностные свойства вставок и скорость отвода тепла от поверхности отливки и снизить в ней внутренние напряжения. В то же время сведения о КМ, полученных электрохимическим способом, весьма ограничены. Целью работы является исследование механизма образования и прогнозирование свойств КМ.

Постановка задачи и ее решение

Включение ДФ в КМ происходит в результате сложного взаимодействия частиц с гидродинамическими, электрическими, концентрационными полями электролита и поверхностью растущих кристаллов металла. При этом в процессе осаждения покрытия, на катоде всегда имеется избыточное количество электронов. Металлический осадок проявляет способность к выталкиванию посторонних тел (ДФ), причем в не-