

Рисунок 4 – Микроструктуры титанового сплава ОТ4-1 после ионного азотирования по различным подачи рабочих газов в камеру

Выводы.

Оптимальной схемой подачи рабочих газов в камеру является схема №1, при которой разогрев проходит в чистом аргоне, без добавления других газов. На стадии выдержки количество аргона сокращается с одновременной подачей заданного количества азота. Похожие результаты можно наблюдать при схеме №3 с разбивкой стадии выдержки на отдельные этапы с постепенным уменьшением количества аргона и увеличением количества подаваемого азота. Наименьшую глубину азотированного слоя демонстрируют образцы после азотирования по схеме №2. Это объясняется тем, что большое количество азота на ранних стадиях разогрева приводит к быстрому образованию на поверхности нитридного слоя, который препятствует дальнейшей диффузии в глубь образца и формированию в нем упрочняющих фаз.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Неровный В.М., Перемитько В.В. Азотирование поверхности титановых сплавов дуговой плазмой низкого давления // ФиХОМ. – 1995. – №3. – С.49-54.
2. Пресман Ю.Н. Исследование процессов химико-термической обработки титановых сплавов в металлотермических смесях: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.16.01 / Ю.Н. Пресман. – Минск, 1974. – 24 с.
3. Прокошкин Д.А. Панайоти Т.А. Соловьев Г.В. Исследование ионного азотирования титана // Известия ВУЗов. Машиностроение. - 1985. - №5. – С. 107-110.
4. Вершинин, Д.С. Низкотемпературное азотирование титана в плазме несамостоятельного дугового разряда низкого давления / Д.С. Вершинин, М.Ю. Смолякова // Физика и химия обработки материалов. – 2011. – № 5. – С. 15–20.
5. Исследование трибологических свойств азотированного титанового сплава ВТ16 / Д.С. Вершинин [и др.] // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2010. – Т. 76. – №12. – С. 45–49.

УДК 621.793:66.088

ТЕРМОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ РЕФРАКТОРНЫХ МЕТАЛЛОВ

*Чекан Н.М.¹, Овчинников Е.В.², Веремейчик А.И.³, Акула И.П.¹,
Эйсымонт Е.И.²*

¹ ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», г. Минск, Беларусь

² УО «Гродненский государственный университет им. Я. Купалы»,
г. Гродно, Беларусь

³ УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Беларусь

Материалы, обладающие такими свойствами как высокая прочность, электропроводность, низкая плотность, все больше находят распространение в авиационной, автомобильной промышленности. Данный спрос на такие материалы обусловлен как экономическими, так и техническими причинами. При-

мером данных материалов являются алюминий, титан и их сплавы [1]. Традиционными технологиями повышения физико-механических характеристик металлических сплавов является дисперсионное упрочнение, термообработка. Однако эти соединения эксплуатируются в различных средах и при различных режимах, что определяет различные скорости протекания физико-химических процессов, приводящих к разрушению материалов [2-5].

В ходе проведенных исследований были рассмотрены термостойкие покрытия на основе многокомпонентных соединений хрома, показано преимущество применения многокомпонентных соединений, содержащих хром, по сравнению с другими видами покрытий.

Исходя из полученных данных следует, что удельная поверхностная энергия существенно зависит от строения и химического состава стальных подложек. Таким образом, возможно предположить, что наиболее высоким адгезионным взаимодействием будут обладать покрытия, сформированные на образцах из стали Р6М5, затем следуют покрытия на сталях 40 и 40Х, далее стали 60ПП и 65Г и с наименьшим адгезионным взаимодействием будут обладать покрытия, сформированные на стали 12Х18Н10Т.

Формирование термостойких антифрикционных покрытий CrCN, ZrCN на стальных подложках приводит к существенному снижению значений поверхностной энергии. Покрытия AlTiN снижают значения поверхностной энергии при формировании на подложках из углеродистой стали 40, 40Х. При формировании на быстрорежущей стали вида Р6М5 покрытий AlTiN значения удельной поверхностной энергии снижаются незначительно (~7 %).

Установлено, что наиболее высокими адгезионными характеристиками обладают покрытия ZrCN. При проведении испытаний покрытие фактически не отслаивается от субстрата, а происходит вдавливание покрытия в подложку.

Рассмотрена размерная граница между нано- и макросостояниями (L_0), основанная на теории Дебая для поверхностного состояния металлов с учетом динамики фонона. Фононные возбуждения приводят к возбуждению электронов. Следовательно, размерная граница может быть установлена и на основе электронных свойств вещества. Если дебаевский псевдоимпульс (p_D), дебаевская длина (λ_D) и дебаевская температура (Θ_D) связаны условиями $p_D \lambda_D = \hbar$, то связь между $L_0 = \lambda_D$ и Θ_D имеет вид

$$L_0 = \lambda_D = \frac{\sqrt{1,5}}{\sqrt{mk}} \Theta^{-1/2} = 230 \Theta^{-1/2} \text{ [нм]}$$

Эта связь L_0 , λ_D и p_D вытекает из уравнения Шрёдингера, теоремы Блоха и условия Борна-Кармана, а также соотношения неопределённостей.

На изменения параметров физических свойств нанокристаллов влияет не только размерный фактор, но и изменения энергетического состояния электронов в приповерхностном слое. Это влияние приводит к появлению размерной границы между наночастицей и атомно-кластерным состоянием. Так как изме-

нения в поверхностных областях не превышают 5 – 7 атомных слоёв, то эта граница охватывает нанокристалл с двумя-тремя координационными сферами.

В ходе проведенных исследований показано, что при малых нагрузках значения коэффициента трения покрытия CrCN по стали растут. Затем при нагрузках в области 25 – 30 Н наблюдается точка экстремума. Дальнейшее повышение значений нормальной нагрузки сопровождается значительным снижением значений коэффициента трения. Таким образом, поведение триботехнических характеристик хромовых покрытий отличается от классических представлений при изменении нормальной нагрузки.

Зависимость коэффициента трения от нагрузки для данных покрытий объясняется тем, что в структуре CrCN находится углерод в высокой концентрации по сравнению с базовым хромовым покрытием. Увеличение нагрузки способствует диффузии углерода в зону трения и образованию разделительной пленки с низкими значениями напряжения сдвига, что и выражается снижением значений коэффициента трения с увеличением нагрузки.

Показано, что мелкодисперсная структура формируется в соединениях CrCN, в покрытии CrC наблюдается большое количество включений различного латерального размера, а в хромовом покрытии образуются глобулярные соединения с максимальным размером, находящимся в области 2×2 мкм. Проведен расчет значений удельной поверхностной энергии, исходя из которого показано, что наименьшей удельной поверхностной энергией обладают хромовые покрытия, а наибольшими – карбонитриды хрома.

Таким образом, удельная поверхностная энергия существенно зависит от строения и химического состава покрытий. Различия в значениях удельной поверхностной энергии, сформированных на сталях с различным значениями процентным содержанием углерода, не значительны.

Наиболее оптимальным коэффициентом трения обладает хромовое покрытие в исследуемом диапазоне нагрузок. Покрытие CrN в области нагрузок до 10 Н обладает наименьшим коэффициентом трения из всех исследуемых типов покрытий. Увеличение нагрузки приводит к резкому возрастанию значений коэффициента трения для пары «алмазный индентор-покрытие CrN». Покрытие CrC имеет более высокий коэффициент трения по сравнению с другими видами исследуемых покрытий. Возможно, это обусловлено развитой морфологией покрытия CrC.

Установлены значения поверхностной энергии покрытий карбонитрида хрома, сформированных на стальных подложках различного химического состава. Так, покрытия, сформированные на стали 60 имеют значения $E_{\text{п}}=54$ мДж, на субстратах из Р6М5 $E_{\text{п}}= 61$ мДж.

Проведены исследования морфологии поверхности вкладышей пресс-формы 0542-018-04-18 корпуса фильтра осадочного 15 с покрытием на базе нитрида хрома. Рассмотрены свойства покрытий CrN, CrCN которые имеют хорошую термическую стабильность, низкую температура осаждения, высокую износостойкость и коррозионной стойкости.

Изготовлены опытные партии металлообрабатывающего инструмента с покрытием на основе соединений хрома.

Изучены адгезионные характеристики карбидонитридов хрома, сформированных на поверхности углеродистых и быстрорежущих сталей. Установлено, что покрытия карбонитрида хрома не зависимо от вида подложки обладают повышенными адгезионными характеристиками в сравнении с вакуумными покрытиями хрома, нитрида хрома, соединений алюминия-титана-азота (алтины). Процесс адгезионного разрушения для покрытий CrCN начинаются при значениях, находящихся в области 12 – 13 Н. Полное отслаивание покрытия карбонитрида хрома от субстрата наблюдается при значениях ~23 Н. Адгезионное взаимодействие при формировании покрытий карбонитрида хрома на субстратах из углеродистой и быстрорежущей сталей хорошо объясняется с точки зрения механической и диффузионной теорий адгезии.

Таким образом, применение вакуумных покрытий на базе рефракторных металлов является одним из эффективных направлений в области повышения эксплуатационного ресурса металлообрабатывающего инструмента и технологической оснастки, применяемой для изготовления изделий из цветных металлов методом литья под давлением.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вакуумно-дуговые устройства и покрытия. / А.А. Андреев [и др.] – Харьков: ННЦХФТИ, 2005. – 236 с.
2. TiAlN film preparation by Y-shape filtered-arc-deposition system / T. Mashiki [et al.] // Thin Solid Films. – 2008. – Vol. 516. – P. 6650-6654.
3. Ding, X. Abrasive wear resistance of Ti_{1-x}Al_xN hard coatings deposited by a vacuum arc system with lateral rotating cathodes / X. Ding, C.T. Bui, X.T. Zeng // Surf. And Coat. Technol. – 2008. – Vol. 203. – P. 680-684.
4. Mechanical properties and machining performance of Ti_{1-x}Al_xN-coated cutting tools. plating / A. Horling [et al.] // Surf. And Coat. Technol. – 2005. – Vol. 191. – P. 384-392.
5. Шпак, А.П. Механічні властивості покриттів на основі титану. / А.П. Шпак. – К.: ИМФ НАНУ, 2005. – 96 с.

УДК 620.178

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Онысько С.Р.¹, Хвисевич В.М.¹, Чекан Н.М.², Акула И.П.²

- 1) Брестский государственный технический университет
Брест, Республика Беларусь;
- 2) Физико-технический институт НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь.

В настоящей работе представлены результаты исследований методом скретч-тестирования механизмов разрушения и трещиностойкости покрытий нитрида (ZrN) и карбонитрида (ZrCN) циркония, определены оптимальные условия формирования композиционного покрытия устойчивого к процессам трещинообразования.