

Влияние комплексной обработки получения композиционного покрытия «термодиффузионный слой – ионно-плазменное покрытие» на механические свойства

Студенты группы 10405520 Змачинская И. А., Монжос Ю. С., Стасенко А. С.

Научный руководитель – Корнеева Е. К.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Одним из перспективных направлений повышения эффективности PVD покрытий путем предварительной обработки подложки, на которую они наносятся, обладает химико-термическая обработка.

Совместное применение ХТО и нанесение PVD покрытия приводит к тому, что на поверхности формируется слой нового, отличающегося по составу и свойствам материала – композиционного покрытия «термодиффузионный слой – ионно-плазменное покрытие».

Традиционные вакуумные покрытия, имея малую толщину слоя, не обеспечивают достаточный уровень жесткости на деталях. Основные причины недостаточной жесткости покрытия:

1. Состав сплава, на которое наносится покрытие, определяет свойства этого покрытия. В процессе изнашивания, помимо самого покрытия, пластическую деформацию воспринимают и накапливают приповерхностные объемы изделия – материал стальной подложки;

2. При формировании тонких, твердых вакуумных покрытий на стальной поверхности, на границе «подложка-покрытие» наблюдается высокий градиент твердости. В случае, если подложка мягкая, то на границе твердости наблюдается резкий переход. Это может стать причиной разрушения – продавливания покрытия, что в значительной мере оказывает влияние на уровень жесткости изделия.

Таким образом, при корректном согласовании материалов, морфологии и свойств подложки с покрытием возможна реализация комплексного подхода поверхностного упрочнения, включающего предварительную химико-термическую обработку подложку с последующим нанесением ионно-плазменного покрытия.

Прочностные свойства и износостойкость покрытий определяется в равной мере твердостью и упругостью покрытия с переходной зоной и подложкой (основным сплавом). Поэтому при создании износостойких покрытий оперируют отношениями величин твердости и модуля упругости, а наиболее важным параметром в этом случае является показатель перехода от упругой деформации к разрушению, т.е. индекс пластичности. Можно выделить два основных подхода к созданию износостойких покрытий относительно индекса пластичности:

1. Механика разрушения. В любом сплаве уже присутствуют дефекты, в которых фокусируется пластическая при приложении нагрузки или возникновения напряжений. По этой причине, важным требованием покрытий является высокая жесткость (высокое значение модуля E), которая препятствует росту дефектов до критических размеров, т.е. для начала разрушения уже потребуются более высокие нагрузки;

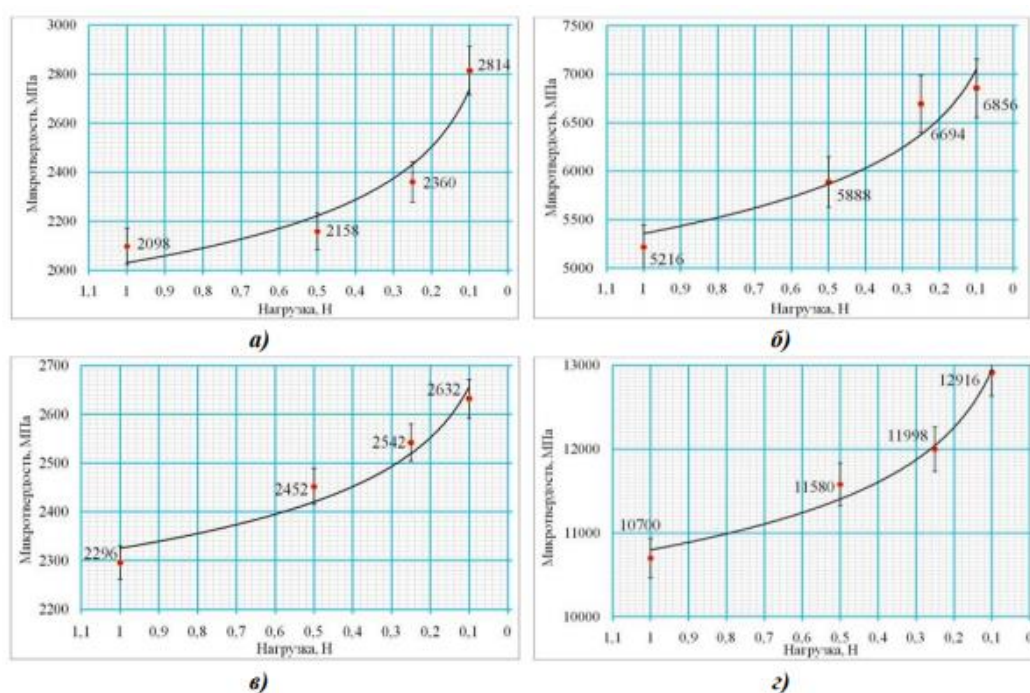
2. Создание покрытия с очень высоким индексом пластичности. Главная идея этого подхода – максимальное снижение напряжений в переходной зоне (между покрытием и подложкой). Для реализации этого подхода модуль упругости покрытия должен быть близким с его значением для подложки, чтобы снизить напряжения на границе раздела и в точках контакта; высокая твердость должна препятствовать пластической деформации.

Одним из часто применяемых способов комплексной обработки является ионно-плазменное азотирование с последующим нанесением покрытий на базе Ti-N. Процессы ИПА и нанесения покрытия могут реализовываться в одном технологическом цикле, а насыщение металлической подложки азотом удобно для последующего нанесения покрытий на основе нитридов и формирования границы раздела подложка-покрытие химически более однородной.

Микротвердость и износостойкость упрочняемой поверхности в результате такой обработки могут дополнительно повышаться в 1,2...2,0 и до 2,0 раза соответственно [1-2].

Обычно температура подложки в PVD методах осаждения не превышает 500-600°C при достаточно высокой энергии осаждаемых частиц. В покрытиях при осаждении формируются неравновесные фазы: однофазные твердые растворы (Ti, Al)N с кубической либо вюрцитной кристаллической структурой в зависимости от содержания алюминия. В некоторых случаях осаждается двухфазная система: с твердым раствором (Ti, Al)N в покрытии регистрируется и вторая фаза – метастабильный кубический AlN. При последующем нагреве происходит фазовый переход с образованием стабильных кубической TiN и вюрцитной гекс-AlN фаз [2-4].

Принимая во внимание значения микротвердости (рис.1), полученные в работе [1], видно, что PVD покрытие имеет значительное влияние на микротвердость поверхности в зависимости от подложки, а именно с увеличением микротвердости последней. Однако также анализируя полученные экспериментальные данные можно заметить, что влияние наличия термодиффузионного слоя (в данном случае карбонитридного) на общую микротвердость является неаддитивным [3].



а - армко-железо, б - армко-железо с карбонитридным слоем,
в - сталь 12X18H9Т, г - сталь 12X18H9Т с карбонитридным слоем

Рисунок 1 – Зависимости микротвердости поверхности с покрытием TiN на различных подложках от величины прилагаемой нагрузки [1].

Увеличение микротвердости поверхности армко-железа и стали 12X18H9Т после комплексной обработки значительно превышает увеличение микротвердости от этих обработок по отдельности. Данное явление возможно связано с тем, что упрочнение подложки ХТО устраняет резкий переход в твердости между подложкой и покрытием, тем самым демпфируя градиент твердости разнородных материалов, препятствует продавливанию покрытия и существенно повышает жесткость покрытия и интегральную микротвердость поверхности [1].

Одним из наиболее эффективных способов ХТО для повышения микротвердости стальных подложек является процесс борирования. В результате борирования на поверхности стали могут формироваться диффузионные слои, микротвердость которых достигает 22 ГПа. Вместе с боридными слоями высокую микротвердость имеют диффузионные слои и отдельные фазы, образующиеся на углеродистых и легированных сталях в результате карбонитрации (нитроцементации), карбидизации (цементации) и азотирования, имеющие микротвердость от 6 до 33,0 ГПа [1-2].

Распределение микротвердости по толщине диффузионного двухфазного боридного слоя является ступенчатым с протяженными участками постоянной микротвердости, равными длине боридных игл фаз FeB с поверхности и Fe₂B ближе к сердцевине, под которыми располагается подборидная зона. Такое распределение микротвердости, обусловленное особенностями строения боридного слоя, обеспечивает наибольшую эффективную толщину упрочненного слоя подложки в системе «термодиффузионный слой – PVD покрытие» по сравнению с распределением микротвердости по толщине однофазных боридных, карбидных, нитридных и карбонитридных слоев на сталях.

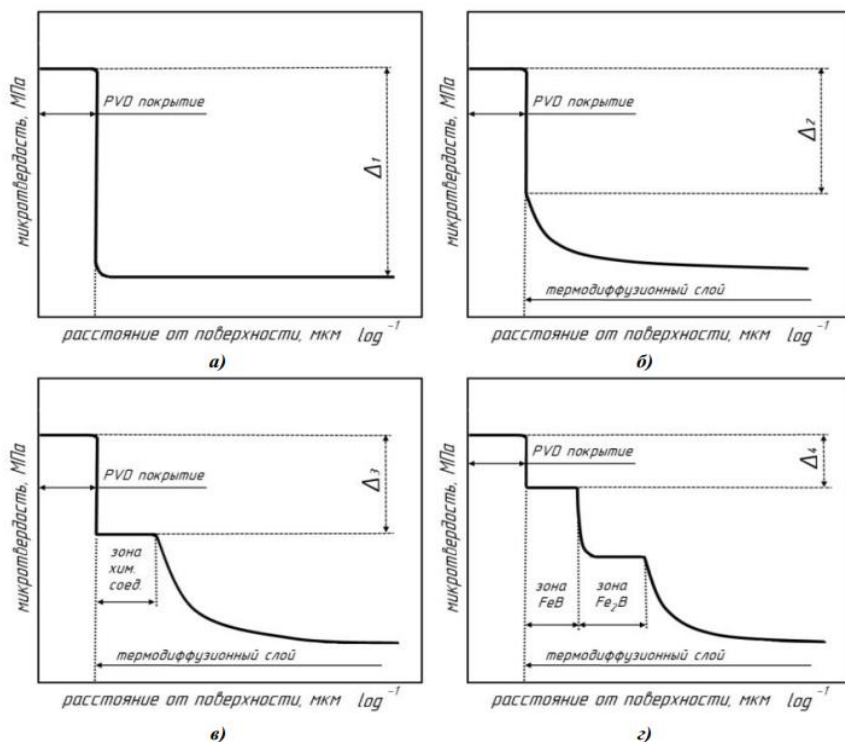


Рисунок 2 – Схемы распределения микротвердости по сечению композиционных покрытий «сталь – PVD покрытие»:

- а) неупрочненная подложка, б) подложка с диффузионным карбонитридным или азотированным слоем, в) подложка с карбидным или однофазным боридным слоем, г) подложка с двухфазным боридным слоем, $\Delta_1 > \Delta_2 > \Delta_3 > \Delta_4$ [1];

Применение карбонитрации обеспечивает повышение усталостной прочности и износостойкости стали на 50...80 % большее по сравнению с цементацией и азотированием. Диффузионные карбонитридные слои, представленные на поверхности нитридными, карбидными и карбонитридными фазами с микротвердостью 4...22 ГПа, даже при отсутствии смазочного материала не проявляют склонности к схватыванию и последующему катастрофическому изнашиванию [1].

Прочностные характеристики систем «термодиффузионный слой – вакуумное покрытие» справедливо рассматривать с учетом адгезионных свойств покрытий. Очевидно, что без должных сил адгезии между покрытием и подложкой прогнозируемый уровень свойств не будет реализовываться на практике. В этом случае предварительная химико-термическая обработка позволяет качественно повысить адгезию покрытий за счет формирования переходного диффузионного слоя между термодиффузионным слоем и PVD покрытием [5].

Список использованных источников

1. Разработка аддитивных технологий упрочнения конструкционных сталей на основе химико-термической обработки и нанесения ионно-плазменных покрытий / В. М. Константинов [и др.] // Актуальные проблемы прочности : монография : [по материалам 60-й Международной научной конференции «Актуальные проблемы прочности», г. Витебск, 14-18 мая 2018 г.] : в 2 т. / Национальная академия наук Беларуси, Витебский государственный технологический университет ; под ред. В. В. Рубаника. – Витебск : ВГТУ, 2018. – Т.2, гл.18. – С.378-401.
2. Константинов, В. М. Износостойкие металлоидсодержащие покрытия на сталях, полученные термодиффузионным насыщением и вакуумным осаждением = Wear-Resistant Metalloid-Containing Coatings on Steels Obtained by Thermal Diffusion Saturation and Vacuum Deposition / В. М. Константинов, А. В. Ковальчук // Наука и техника. – 2020. – №6. – С.480-491.
3. The effect of steel substrate pre-hardening on structural, mechanical, and tribological properties of magnetron sputtered TiN and TiAlN coatings / E. F. Komarov, V. M. Konstantinov, A. V. Kovalchuk, S. V. Konstantinov, H. A. Tkachenko // Wear. – 2016. – Vol.352-353. – P.92-101.
4. The Effect of TiN, TiAlN, CrAlN, and TiAlN/TiSiN Coatings on the Wear Properties of AISI H13 Steel at Room Temperature [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/329144281>. – Дата доступа: 21.10.2023.
5. Константинов, В. М. Адгезия покрытий Ti-N на модифицированной стальной подложке / В. М. Константинов, Г. А. Ткаченко, А. В. Ковальчук // Металлургия : Респ. межвед. сб. науч. тр. – Минск : БНТУ, 2014. – Вып. 35. – С.272-282.