

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ ПОВЕРХНОСТИ АРМКО-ЖЕЛЕЗА ПОСЛЕ ДИФфуЗИОННОГО БОРИРОВАНИЯ И НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЯ TiAlN

Константинов В.М., Ковальчук А.В.

Республика Беларусь, г. Минск,

Белорусский национальный технический университет (БНТУ)

a-v-kov@yandex.com

Аннотация: исследована микротвердость поверхности армко-железа после однофазного и двухфазного борирования в порошковой среде и последующего магнетронного нанесения покрытия TiAlN; оценены вклад основы и покрытия в наблюдаемую микротвердость поверхности, несущая способность покрытия на различных основах, а также эффект от комплексной обработки. Экспериментально показано, что повышение микротвердости основы в результате борирования приводит к непропорциональному повышению микротвердости поверхности с покрытием TiAlN.

Ключевые слова: армко-железо, борирование, покрытие TiAlN, микротвердость, несущая способность.

Введение. Одним из критериев выбора способов поверхностного упрочнения стальных деталей является получаемый уровень микротвердости поверхности, который также коррелирует с ее износоустойчивостью. В связи с этим нашли широкое распространение способы получения на поверхности слоев или покрытий с высокими значениями микротвердости: диффузионные слои, получаемые в результате химико-термической обработки – цементации, азотирования, борирования, хромирования и многокомпонентного насыщения [1–3], а также алмазоподобные покрытия и покрытия на базе тугоплавких соединений, получаемые парофазным осаждением [4–9].

Однако использование перечисленных способов в отдельности не всегда является достаточным для получения требуемых свойств деталей. Так собственно химико-термическая обработка зачастую не обеспечивает получение свойств деталей, отвечающих современному уровню требований к ним, а нанесение высокотвердых PVD покрытий не всегда дает повышение микротвердости поверхности до уровня микротвердости самих покрытий.

Помимо факторов толщины, пористости и адгезии покрытий, это связано с тем, что микротвердость поверхности определяется, в том числе микротвердостью основы и переходной зоны между основой и покрытием [10]. Следствием этому стала разработка способов комплексной обработки, включающей модифицирование основы и последующее нанесение PVD покрытия. Такая обработка позволяет формировать комплекс свойств поверхности (износостойкость, коррозионная стойкость, жаростойкость и другие), причем покрытие и основа могут отвечать за разные свойства или формировать одни свойства объемным сочетанием. При этом может достигаться уровень свойств поверхности, недостижимый для материалов основы и покрытия в отдельности [11]. На проектировании и создании таких поверхностных композиций основано топокомпозиционное материаловедение, а такие слоистые системы носят название «топокомпозииты» [12].

В данной работе исследована микротвердость поверхности с покрытием TiAlN на основе из армко-железа, упрочненного в результате однофазного и двухфазного диффузионного борирования при различных нагрузках на индентор.

Материалы и методики. Диффузионное насыщение проводили в порошковой среде «besto-bor» [13] в контейнерах, герметизируемых плавким затвором, 950 °С, 4 ч. Для проведения процесса использовали шахтную электрическую печь. Контроль температуры осуществляли при помощи потенциометра ПСР-01, градуировка ХА.

Покрyтия TiAlN наносили на установке магнетронного распыления УРМ 327 в НИИ ПФП им. А.Н. Севченко БГУ под руководством зав. лаборатории элионики чл. корр. НАН Беларуси, д. ф.-м. наук, профессора Ф.Ф. Комарова.

Нанесение покрытий осуществляли следующему режиму. Ионная очистка: $P = 0,6$ Па; $t = 6$ мин; $U = 2,5$ кВ; $I = 20$ мА. Напыление: $P = 7,2$ Па; подслоя (TiAl): $t = 1$ мин 20 сек; покрытие (TiAlN): $\alpha = 0,55$; $U = 310$ В; $I = 1,45$ А; $t = 30$ мин. Нагрев: $T = 300$ °С. Смещение: $U = -100$ В. Полученная толщина покрытия составила 1,0 мкм.

Измерения микротвердости проводили по методу восстановленного отпечатка на автоматическом твердомере DuraScan 20 (Австрия).

Результаты и их обсуждение. В результате борирования на образцах армко-железа были сформированы компактные однофазные и двухфазные боридные слои (рис. 1) толщиной 160 и 240 мкм соответственно.

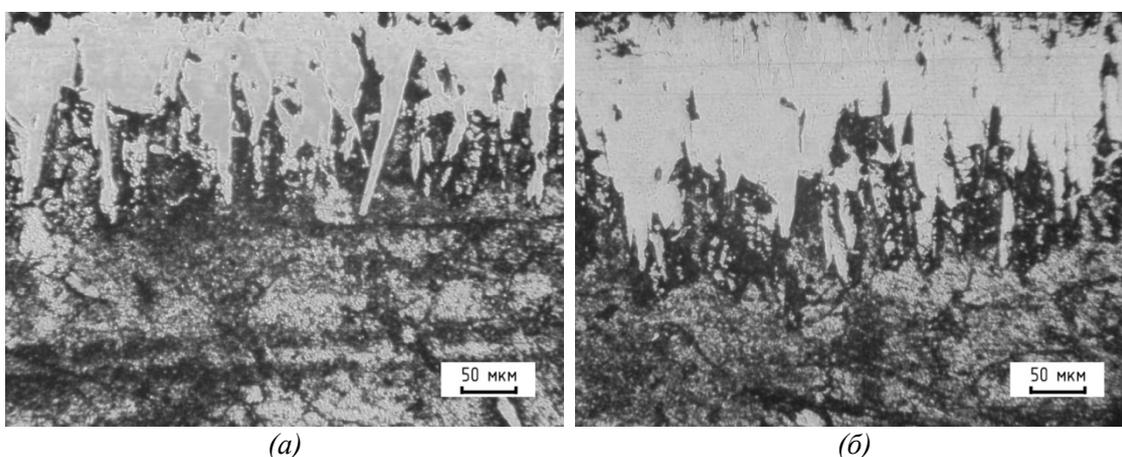


Рисунок 1 – Микроструктуры армко-железа после однофазного (а) и двухфазного (б) борирования 950 °С, 4 ч

Результаты измерения микротвердости (табл. 1) показали, что наблюдаемая микротвердость покрытия на борированной основе значительно выше, а прирост значений микротвердости поверхности с покрытием TiAlN на упрочненной основе при уменьшении нагрузки на индентор с 1,961 Н до 0,490 Н составляет 60 % против 20 % прироста для значений микротвердости поверхности с покрытием TiAlN на неупрочненной основе.

Таблица 1

Микротвердость поверхности с покрытиями TiAlN на различных основах

№	Основа	Микротвердость основы, МПа	Микротвердость поверхности (МПа) при нагрузке (Н)		
			1,961	0,981	0,490
1	Армко-железо без обработки	1250	1750	1950	2110
2	Армко-железо, однофазное борирование	10300	12800	15300	19860
3	Армко-железо, двухфазное борирование	14480	15300	18540	24335

Такие результаты хорошо согласуются с представлениями о вкладе основы в формирование эффективных свойств поверхности с покрытием, когда повышение микротвердости основы приводит к непропорциональному повышению наблюдаемой микротвердости поверхности с покрытием [11] и, достигая определенного уровня свойств основы, наблюдаемая микротвердость поверхности с покрытием может сравниться с истинной микротвердостью покрытия и даже превысить его за счет большего упругого восстановления покрытия на упрочненной основе [14].

Установлено, что микротвердость покрытий TiAlN на основе из армо-железа, предварительно подвергнутой двухфазному борированию выше, чем на армо-железе после однофазного борирования. Это можно объяснить большей микротвердостью полученного двухфазного боридного слоя по сравнению с однофазным. Одновременно с этим при разнице в микротвердости между однофазным и двухфазным боридными слоями ≈ 4000 МПа, разница в наблюдаемых значениях микротвердости покрытий на них при нагрузке 1,961 Н составляет 2500 МПа.

Это можно объяснить тем, что однофазные боридные слои обладают большим запасом пластичности [15] и являются менее хрупкими, то есть имеют большую деформацию разрушения, следовательно, могут приносить вклад в упругое восстановление покрытия при больших нагрузках. Однако при уменьшении нагрузки на индентор разница в значениях микротвердости увеличивается и при нагрузке 0,49 Н составляет более 4400 МПа, что указывает на первоочередную роль микротвердости основы в повышении несущей способности поверхности с PVD покрытием.

Общее повышение микротвердости поверхности армо-железа в результате комплексной обработки, включающей борирование и нанесение покрытия TiAlN может превышать 19 раз (при нагрузке 0,49 Н). Эффективность комплексной обработки будет определяться условиями работы упрочняемых деталей, так как наблюдаемые значения микротвердости покрытий на упрочненной основе снижаются с увеличением нагрузки.

Заключение. Таким образом, получены результаты, свидетельствующие о перспективности использования однофазного и двухфазного борирования в порошковой среде совместно с последующим осаждением высокотвердых покрытий для повышения дюрOMETрических характеристик стальных поверхностей.

Экспериментально показано, что повышение микротвердости основы из армо-железа в результате однофазного и двухфазного термодиффузионного борирования приводит к непропорциональному повышению микротвердости поверхности с покрытием TiAlN.

Список использованных источников

1. Восстановление деталей машин: Справочник / Ф.И. Пантелеенко, В.П. Лялякин, В.П. Иванов, В.М. Константинов / Под ред. В.П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2013. – 672 с.
2. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: Справочник / Под ред. Л.С. Ляховича. – Москва: Металлургия, 1981 – 424 с.
3. Дашкевич, В.Г. Эффективные технологии поверхностной обработки изделий из стали / В.Г. Дашкевич, Г.В. Стасевич, А.В. Ковальчук, В.Г. Щербаков, Д.В. Гегеня // Научно-технологические инновации : сборник докладов Юбилейной Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 60-летию БГТУ им. В. Г. Шухова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. – Ч. 4. – С. 229–233.
4. Комаров, Ф.Ф. Формирование наноструктурированных покрытий TiAlN, TiCrN, TiSiN методом реактивного магнетронного осаждения / Ф.Ф. Комаров, С.В. Константинов, В.В. Пилько // Трение и износ. 2014. – Т. 35. – № 3. – С. 293 – 303.
5. Наноструктурные покрытия / Под ред. А. Кавалейро, Д. де Хоссена. Перевод с англ. А.В. Хачояна под ред. Р.А. Андриевского. М.: Техносфера, 2011. – 752 с.

6. Овчинников, Е.В. Алмазоподобные антифрикционные покрытия / Е.В. Овчинников, В.А. Струк, Н.М. Чекан, Е.И. Эйсымонт // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф.: в 2 ч. Ч.1 // М-во обр. и науки РФ, Нац. акад. М: М-во образования РБ. – Могилев: Без изд., 2011. – С. 192–195.*
7. Mayrhofer, P.H. Microstructural design of hard coatings / P.H. Mayrhofer, C. Mitterer, L. Hultman // *Progress in Materials Science. – 2006. – Vol. 51. – № 8. – P. 1032–1114.*
8. Horling, A. Mechanical properties and machining performance of $Ti_{1-x}Al_xN$ -coated cutting tools plating / A. Horling, L. Hultman, M. Oden, J. Sjolen, L. Karlsson // *Surf. And Coat. Technol. – 2005. – Vol. 191. – P. 384–392*
9. Погребняк, А.Д. Структура и свойства твердых и сверхтвердых нанокompозитных покрытий / А.Д. Погребняк, А.П. Шпак, Н.А. Азаренков, В.М. Береснев // *Успехи физических наук, 2009. – № 1 (179). – С. 35–64.*
10. Voronin N.A. The influence of strain hardening of a base material on the effective characteristics of a topocomposite // *Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 2014. – V. 43. – № 6. – P. 539–545.*
11. Воронин, Н.А. Особенности и прикладной аспект механики контактного взаимодействия жесткого сферического штампа с упруго-пластичным слоистым полупространством // *Межвуз. сб. науч. тр. Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел и деталей машин. Тверь: ТГТУ, 2006. – С. 32–55.*
12. Воронин, Н.А. Топокомпозиты – новый класс конструкционных материалов триботехнического назначения. Часть 1 // *Трение и износ, 1999. – Т. 20 – № 3 – С. 533–544.*
13. BESTO (Белорусские среды для термодиффузионной обработки) [Electronic resource] – Mode of access : <http://besto.by/vidy-obrabotok/borirovanie>. – Date of access : 20.06.2015.
14. Ковальчук, А.В. Комплексное поверхностное упрочнение стальных изделий / А. В. Ковальчук, С. В. Константинов; науч. рук. Ф.Ф. Комаров, Г.А. Ткаченко // *Литье и металлургия. – 2014. – № 4 (77). – С. 144–150.*
15. Крукович, М.Г. Пластичность борированных слоев / М.Г. Крукович, Б.А. Прусаков, И.Г. Сизов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 384 с.