

Константинов В.М., доктор технических наук, профессор;

Дашкевич В.Г., кандидат технических наук, доцент;

Ковальчук А.В.

Учреждение образования «Белорусский национальный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ДВУХСЛОЙНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Аннотация. Получены двухслойные покрытия «термодиффузионный слой – PVD покрытие», представляющие собой структуру упрочненной в результате борирования стальной подложки и высокотвердого покрытия TiAlN, полученного путем контролируемого магнетронного нанесения. Исследованы дюрометрические и трибологические свойства полученных двухслойных покрытий.

Ключевые слова: упрочнение, химико-термическая обработка, борирование, PVD покрытие, микротвердость, износостойкость.

Annotation. Two-layer coating of the «thermodiffusion layer – PVD coating» was obtained. They have the structure hardened as a result of boriding steel substrate and hard coating TiAlN, obtained by controlled magnetron sputtering. Microhardness and tribological properties of the resulting two-layer coatings was investigated.

Keywords: hardening, thermochemical treatment, boriding, PVD coating, microhardness, wear resistance.

Требования к уровню эксплуатационной стойкости деталей пар трения в условиях отечественных машиностроительных производств и предприятий СНГ, где зачастую выбор способов обработки материалов диктуется не столько техническими требованиями, сколько возможностями имеющегося оборудования, способствовали становлению нового направления развития инженерии поверхности. Оно базируется на традиционных способах упрочнения с привнесением современных технологических кластеров и предполагает регламентированное изменение состава, структуры и свойств поверхности детали в заданном направлении [1, 2].

Перспективным способом поверхностного упрочнения является нанесение PVD/CVD твердых и высокотвердых покрытий на основе двухкомпонентных фаз внедрения [3, 4].

Однако следует отметить, что толщины получаемых вакуумным осаждением покрытий наряду с уровнем их эффективной жесткости на реальных деталях зачастую не в состоянии обеспечить высокую несущую способность покрытий [5].

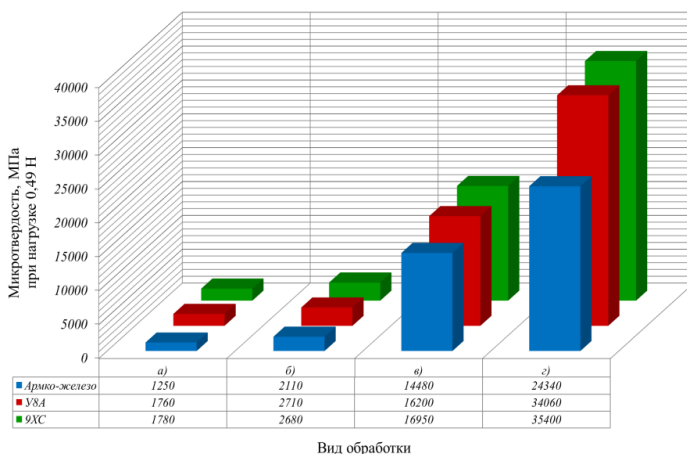
Это связано с тем, что свойства твердых покрытий ограничиваются, в том числе, свойствами материалов, на которые они наносятся, так как в процессе изнашивания помимо самого покрытия пластическую деформацию воспринимают и накапливают приповерхностные объемы деталей – материал подложки [1, 2, 5].

На основании этого сформировалась новая концепция повышения свойств PVD/CVD покрытий, заключающейся в согласовании механических свойств покрытия и подложки и разработке технологий комплексного поверхностного упрочнения или дуплекс-процессов, включающих упрочнение подложки и последующее нанесение PVD/CVD покрытия [1, 6-8].

В данной работе представлены результаты исследований свойств двухслойных покрытий «термодиффузионный слой – PVD покрытие», разработанных для упрочнения деталей плунжерных и золотниковых пар гидромоторов белорусского производства [9].

Для получения двухслойного покрытия проводили термодиффузионное борирование в порошковой среде. Для проведения процесса использовали оригинальную порошковую смесь с высокой насыщающей способностью «besto-bor» [10]. В качестве материалов основы были использованы армко-железо и стали У8А и 9ХС. Затем получали PVD покрытия TiAlN методом контролируемого магнетронного нанесения в среде реактивных газов в НИИ прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко БГУ под руководством чл.-корр. НАН Беларуси, д.ф.-м.н., профессора Ф.Ф. Комарова.

В результате такой комплексной обработки на армко-железе и сталях У8А и 9ХС был сформирован эффективный упрочненный слой общей толщиной от 100 до 160 мкм. При этом микротвердость поверхности в результате комплексной обработки существенной выше ее значений для борирования и нанесения покрытия TiAlN в отдельности (рисунок 1).



а) без обработки, б) с покрытием TiAlN, в) после борирования, г) после комплексной обработки

Рисунок 1 – Микротвердость поверхности стальных образцов в результате различных видов обработки

На протяжении трибологических испытаний все образцы с покрытиями показывали стабильные результаты, в трех точках измерения получались практически одинаковые дорожки износа. Это говорит о равномерном распределении свойств покрытий по поверхности. Основной причиной появления повреждений на дорожках трения следует считать, главным образом, хрупкое разрушение покрытий из-за их неспособности деформироваться и разрушение вследствие уменьшения толщины покрытия в очаге износа до некоторого критического значения. Вместе с этим разрушение покрытий также может быть обусловлено развитием трещин в подложке и на границе раздела с подложкой или термодиффузионным слоем и их распространению в результате контактного воздействия.

Износостойкость поверхности (в условиях сухого трения скольжения) в результате комплексной обработки в сравнении с необработанным состоянием повышается для армко-железа в 4,3 раза, для сталей У8А и 9ХС – в 5,6 и 5,8 раза соответственно.

Следует отметить, что износостойкость поверхности с двухслойными покрытиями «боридный слой – TiAlN» выше, чем с покрытием TiAlN в 2,9...4,1 раза. Это связано с тем, что предварительное упрочнение в результате борирования увеличивает время до появления остаточной деформации в основе

и снижает градиент жесткости и твердости между подложкой и покрытием. Образующиеся в результате термодиффузионного насыщения остаточные напряжения сжатия в поверхностном слое увеличивают время до появления усталостных трещин, а при наступлении начала последовательного разрушения покрытия более жесткий термодиффузионный слой накапливает меньше остаточной деформации и тормозит развития очага разрушения, а при полном разрушении покрытия TiAlN под контртелом работает дольше неупрочненной основы.

Таким образом, двухслойные покрытия «термодиффузионный боридный слой – PVD покрытие TiAlN» являются перспективными для поверхностного упрочнения ответственных стальных деталей.

На примере армко-железа и сталей У8А и 9ХС показано, что указанное двухслойное покрытие повышает микротвердость поверхности до 19,5...19,9 раз и износостойкость до 4,3...5,8 раз относительно исходного состояния.

Список использованной литературы

1. Komarov, F.F. The effect of steel substrate pre-hardening on structural, mechanical, and tribological properties of magnetron sputtered TiN and TiAlN coatings / F.F. Komarov, V.M. Konstantinov, A.V. Kovalchuk, S.V. Konstantinov, H.A. Tkachenko // *Wear*. – 2016. – Vol. 352-353. – P. 92–101.
2. Nanostructured Coatings / Eds. A. Gavaleiro, J.T. De Hosson. – Berlin: Springer-Verlag, 2006. – 648 p.
3. Komarov, F.F. [et. all] Formation and characterization of nanostructured composite coatings based on the TiN phase // *Acta Phys. Pol.*, 2014. – V. 125. – P. 1292-1295.
4. Microstructural design of hard coatings. / P.H. Mayrhofer [et al.] // *Progress in Materials Science*. – 2006. – Vol. 51. – № 8. – P. 1032-1114.
5. Методы упрочнения поверхностей деталей машин под ред. Г.В. Москвитина – М.: КРАСАНД, 2008. – 400 с.
6. Podgornik, B. [et all] Tribological Properties of Plasma Nitrided and Hard Coated AISI 4140 Steel // *Wear*, 2001. – Vol. 249. – P. 254-259.
7. Metallic and Ceramic Coatings / Eds. M.G. Hocking, V. Vasantasree, P. Sidky – Harlow: Longman scientific & technical, 1989. – 670 p.
8. Shengli, M. The composite of nitrided steel and TiN coatings by plasma duplex treatment and the effect of pre-nitriding // *Surface and Coatings Technology*, 2001. – Vol. 137. – P. 116-121.
9. Konstantinov, V.M. Surface engineering of slider valves of fluid power motors made of tool steels by using boriding saturation mixture / V.M. Konstantinov, V.G. Dashkevich, A.V. Kovalchuk // *Agricultural Engineering*. – 2015. – Vol. 47. – P. 1–6.
10. BESTO (Белорусские среды для термодиффузионной обработки) [Electronic resource] – Mode of access: <http://besto.by/vidy-obrabotki/borirovanie>. – Date of access: 08.02.2016.