

Исследование свойств АПУ покрытий на стальных подложках с диффузионным боридным слоем

Студент гр. 10401116 Лешок В. А.
 Научный руководитель – Ковальчук А.В.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Традиционно покрытия алмазоподобного углерода применяют для упрочнения деталей и инструмента, изготавливаемых из твердых сплавов. Применение покрытий АПУ на железе и углеродистых сталях ограничено из-за того, что при нагреве АПУ покрытия на углеродистой стали происходит графитизация покрытия. Это обусловлено каталитическим действием железа на углерод с sp^3 гибридизацией связей (алмазоподобный), который в результате приобретает тип гибридизации sp^2 (графит). Авторами [1, 4, 6] была выдвинута и научно доказана гипотеза о том, что формирование на стальной подложке сплошного термодиффузионного слоя на основе химических соединений (боридов) будет тормозить процесс деструкции покрытий АПУ на подложках из железа и углеродистых сталей при нагреве. В данной работе проанализированы результаты оценки свойств алмазоподобных углеродных покрытий на подложках из малоуглеродистой стали с предварительно сформированными боридными слоями.

Установлено, что морфология АПУ покрытий на различных подложках заметно отличается. Наблюдается более развитая морфология покрытий на образцах с однофазными и особенно двухфазными боридными слоями [6]. Однако количество дефектов увеличивается на них незначительно.

Методом спектроскопии комбинационного рассеяния света установлено, что присутствие же под покрытием АПУ диффузионного боридного слоя в значительной степени снижает отношение I_D/I_G , что подтверждают результаты КРС спектроскопии (таблица 1). Эффект снижения отношения I_D/I_G наблюдается в большей степени для двухфазных боридных слоев (Fe_2B+FeB). Однако, указанное отношение растет с увеличением температуры отжига для всех покрытий, но для покрытий АПУ на подложках из армко-железа с боридным слоем отношение I_D/I_G остается ниже, чем для покрытий на армко-железе без диффузионного слоя и с увеличением температуры отжига эта разница существеннее.

Таблица 1 – Результаты КРС-спектроскопии покрытий АПУ, подвергнутых отжигу при различных температурах на подложке из армко-железа, подвергнутого различной обработке [1, 6]

Температура отжига, °С		200	350
<u>Подложка из армко-железа (отожженная)</u>			
D-пик	Положение, cm^{-1}	1376,5	1323,8
	Ширина, cm^{-1}	325,3	123,7
G-пик	Положение, cm^{-1}	1533,6	1543,6
	Ширина, cm^{-1}	142,4	178,6
Отношение I_D/I_G		0,49	2,04
<u>Подложка из армко-железа с однофазным боридным слоем (Fe_2B)</u>			
D-пик	Положение, cm^{-1}	1366,1	1339,6
	Ширина, cm^{-1}	324,7	282,2
G-пик	Положение, cm^{-1}	1527,8	1580,2
	Ширина, cm^{-1}	155,0	56,7
Отношение I_D/I_G		0,44	1,41

Продолжение Таблицы 1.

Подложка из армко-железа с двухфазным боридным слоем (Fe ₂ B, FeB)			
D-пик	Положение, см ⁻¹	1373,4	1407,4
	Ширина, см ⁻¹	319,9	336,3
G-пик	Положение, см ⁻¹	1528,8	1565,
	Ширина, см ⁻¹	147,1	122,4
Отношение I _D /I _G		0,42	0,75

Согласно материалам исследования, можно заметить, что на спектрах КРС от покрытий АПУ с боридным слоем в подложке ширина *G*-пика (графита) меньше. Тем самым, ширина *D*-пика (алмаз) больше, чем на образцах, не подверженных ХТО. Заметное увеличение соотношения I_D/I_G при увеличении температуры отжига может быть объяснено тем, что происходит постепенное уменьшение размеров sp^2 -блоков [6]. На графике КРС спектроскопии присутствует заметное сужение ширины *G*-пика. Теоретическое обосновывается это явления тем, что увеличивается упорядоченность sp^2 -блоков в структуре наблюдаемых образцов [1, 4–6]. В свою очередь некоторое относительное уширение *D*-пика может сообщать о разупорядочивании и уменьшении числа sp^3 -блоков. В ходе лабораторных испытаний было установлено, что в полученных спектрах линия *G* смещена на 20...50 см⁻¹ относительно той же линии у монокристалла графита. Этот факт свидетельствует о том, что присутствует полученных покрытиях некоторая доля аморфности графитовой фазы [4].

Экспериментально подтверждено, что двухфазный боридный слой (фаза FeB на поверхности) снижает процессы разрушения покрытий до 290...330 °С. Это происходит, из-за графитизации, окисления и отслаивания покрытий. Также происходит эволюция поверхностных дефектов с повышением температуры отжига. Хотя полностью исключить указанные процессы не удается, но предварительное борирование их существенно замедляет. Данный эффект наблюдается из-за образования железом на подложке термодинамических устойчивых боридов железа [5]. Тугоплавкая высокобористая фаза FeB препятствует контакту АПУ покрытия с железом подложки и тем самым способствует повышению теплостойкости поверхности в системе «боридный слой – покрытий АПУ». Полученные результаты могут позволить эффективно использовать покрытия АПУ на углеродистых сталях за счет предварительного борирования стальной подложки.

Из результатов дюрометрического анализа поверхности образцов установлено, что насыщение поверхности бором приводит к многократному возрастанию твердости системы пленка-подложка [4]. При этом эффект наиболее заметен для стальных подложек с двухфазным боридным слоем.

Тем самым вакуумные покрытия АПУ на подложках с двухфазным боридным слоем имели наибольшую площадь и наибольшее количество криволинейных участков [1-3, 6]. Однако такие свойства двухфазных боридных слоев, как более высокая микротвердость и жесткость, позволяет алмазоподобным покрытиям на них заметно меньше продавливаться при микроиндентировании.

Экспериментально установлено, что при нанесении покрытия АПУ на борированный слой дополнительно увеличивается износостойкость поверхности [7–8].

Список использованных источников

1. Константинов, В. М. Разработка аддитивных технологий упрочнения конструкционных сталей на основе химико-термической обработки и нанесения ионно-плазменных покрытий / В.М. Константинов, Ф.Ф. Комаров, А.В. Ковальчук, С.В. Константинов // Актуальные проблемы прочности: монография. В 2-х т. Т. 2. / Бабиц В.Е. [и др.]; под ред. В.В. Рубаника. – Витебск: УО «ВГТУ», 2018. – Гл. 18. – С. 377-401.

2. Hausner, H.H. Coatings of High-Temperature Materials / H.H. Hausner – New York: Springer Science & Business Media, 2013. – 296 p.

3. S.-Y. Lin, S.-Y. Chang, Y.-C. Huang, F.-S. Shieu, and J.-W. Yeh, “Mechanical performance and nanoindenting deformation of (AlCrTaTiZr)N_{Cy} multi-component coatings co-sputtered with bias” *Surface and Coatings Technology*, vol. 206, no. 24, pp. 5096–5102, 2012.

4. 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.

5. Структура и свойства твердых и сверхтвердых нанокompозитных покрытий А.Д. Погребняк [и др.] // *Успехи физических наук*, 2009. № 1 (179). – С. 35–64.

6. Ковальчук, А. В. Методический подход к созданию топокомпозита триботехнического назначения «сталь – PVD покрытие» / А. В. Ковальчук, Г. А. Ткаченко // *Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сборник научных трудов: в 3 кн.* – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2014. – Книга 1. – С. 164–174.

7. *Nanostructured Coatings* / Eds. A. Gavaleiro, J.T. De Hosson. – Berlin: Springer-Verlag, 2006. – 648 p.

8. 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.