УДК 621.793.09

# ВЛИЯНИЕ ГИБРИДНОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПОКРЫТИЙ

Е. В. ОВЧИННИКОВ, В. Ю. ФАЛЕСА, Е. И. АМИРХАНОВ,
Е. И. ЭЙСЫМОНТ, О. С. МУЛЯРЧИК, Е. Н. МАЗУР
Гродненский государственный университет имени Янки Купалы
Гродно, Беларусь

Алмазоподобные углеродные покрытия перспективны для защитных и антифрикционных слоев благодаря высокой твёрдости, износостойкости и химической стойкости [1]. Дополнительная модификация поверхности позволяет изменять характеристики смачивания и межфазного взаимодействия.

*Цель работы* – установить влияние фторсодержащей модификации и температуры последующей термообработки на морфологию и физико-механические характеристики алмазоподобных покрытий [2].

Покрытия формировали на стали 45 осаждением из импульсной плазмы катодно-дугового разряда в среде паров углеводородов; толщина не превышала 2 мкм. Микротвёрдость измеряли на Mikrosize-uVicky(M) при нагрузке 100 г. Смачиваемость оценивали по краевому углу контакта с водой и вазелиновым маслом. Для гидрофобной модификации поверхность трижды обрабатывали 2-процентным раствором фторсодержащего олигомера (ФСО). Термообработку проводили при 293...573 К в течение 1 ч.

Удельную поверхностную энергию рассчитывали полуэмпирическим методом Owens – Wendt – Rabel – Kaelble (OWRK), представляя ее как сумму дисперсионной и полярной составляющих: $\gamma S = \gamma S^d + \gamma S^p$. Для расчета использовали уравнение $\gamma L(1 + \cos\theta) = 2(\sqrt{(\gamma S^d \gamma L^d)} + \sqrt{(\gamma S^p \gamma L^p)})$. Для воды принимали $\gamma L^d = 21{,}8$ и $\gamma L^p = 51{,}0$ мН/м, а для вазелинового масла – $\gamma L^d = 30{,}4$ и $\gamma L^p = 0$ мН/м. Следует отметить, что вазелиновое масло является многокомпонентной жидкостью, поэтому рассчитанные значения следует рассматривать как оценку удельной поверхностной энергии в рамках принятых параметров тестовых жидкостей.

Расчет показал, что для исходного покрытия свободная поверхностная энергия при 293 К составляет 37,81 мН/м, при 373 К – 45,16 мН/м, при 473 К – 41,97 мН/м и при 573 К – 63,36 мН/м. После модифицирования фторсодержащими олигомерами соответствующие значения составили 29,35; 24,10; 40,96 и 63,63 мН/м. Таким образом, при 293 К модификация снижает расчетную свободную поверхностную энергию примерно на 22 %, а при 373 К – почти на 47 %. При 473 К различие становится небольшим, а при 573 К значения практически совпадают. Фторсодержащая обработка снижала поверхностную энергию покрытия, что указывает на уменьшение адгезионного взаимодействия поверхности с контактирующей средой. При нагреве происходила перестройка модифицированного слоя, а при 573 К зафиксированы его деструкция и отслаивание покрытия от стальной подложки (рис. 1).

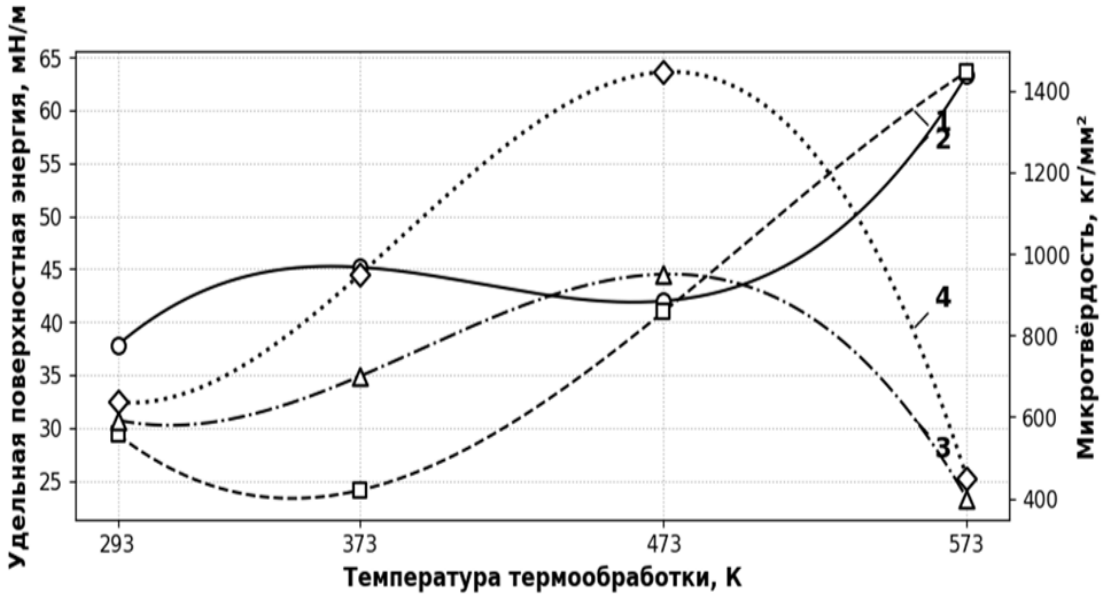


Рис. 1. Зависимость значений удельной поверхностной энергии и микротвердости алмазоподобных покрытий от режимов термообработки: *1* – удельная поверхностная энергия исходного алмазоподобного покрытия; *2* – удельная поверхностная энергия алмазоподобного покрытия, модифицированного ФСО; *3* – микротвёрдость исходного алмазоподобного покрытия (без фторсодержащей модификации); *4* – микротвёрдость алмазоподобного покрытия, модифицированного ФСО

Микротвёрдость зависела от состояния покрытия. Для исследованных образцов при 293 К значения составляли 478,2 и 706,3 кг/мм² без ФСО и 508,0 и 763,8 кг/мм² после модификации. При отдельных режимах термообработки микротвёрдость возрастала до 1266,2 и 1625,4 кг/мм². Наиболее высокие значения получены при 473 К, что может быть связано со структурной перестройкой поверхностного слоя. При 573 К наблюдалось снижение характеристик на участках разрушения покрытия.

Фторсодержащая модификация алмазоподобных покрытий повышает их гидрофобность и снижает поверхностную энергию. Термообработка вызывает структурную перестройку поверхности и изменение микротвёрдости. Наиболее выраженное повышение микротвёрдости наблюдается при умеренном нагреве, тогда как 573 К – критический режим, сопровождающийся деструкцией модифицирующего слоя и нарушением адгезии покрытия.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Овчинников, Е. В.** Формирования тонкопленочных покрытий при воздействии технологических факторов / Е. В. Овчинников // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2013. – № 2 (45). – С. 197–205.

2. **Овчинников, Е. В.** Особенности формирования фторсодержащих покрытий на твердых субстратах / Е. В. Овчинников // Горная механика и машиностроение. – 2018. – № 1. – С. 68–80.