

Список литературы

1. Kneipp, K.; Wang, Y.; Kneipp, H.; Perelman, L. T.; Itzkan, I.; Dasari, R.; Feld, M. S., Single molecule detection using surface-enhanced Raman scattering (SERS). *Phys. Rev. Lett.* 1997, 78 (9), 1667-1670.
2. Mikoliunaite, L.; Rodriguez, R. D.; Sheremet, E.; Kolchuzhin, V.; Mehner, J.; Ramanavicius, A.; Zahn, D. R., The substrate matters in the Raman spectroscopy analysis of cells. *Sci Rep* 2015, 5, 13150.

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ Ta НА МОРФОЛОГИЮ ПОВЕРХНОСТИ, МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОКРЫТИЙ TiAlN

Е.Д. КУЗЬМИНОВ^{1,2}, А.Р. ШУГУРОВ¹, А.М. КАСТЕРОВ¹, А.А. АКУЛИНКИН¹

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

²Томский политехнический университет

E-mail: evgenij_kuzminov00@mail.ru

Покрытия TiAlN получили широкое распространение в промышленности для повышения износостойкости и коррозионной стойкости деталей и механизмов благодаря высокой твердости и стойкости к окислению. Повышенная твердость покрытий TiAlN обусловлена тем, что Al частично замещает Ti в кристаллической решетке TiN, формируя метастабильную ГЦК структуру типа сфалерита (с-AlN). Это приводит к упругой дисторсии кристаллической решетки покрытий TiAlN и, как следствие, к их твердорастворному упрочнению. Однако при температурах свыше 900-950 °С происходит спинодальное разложение метастабильного твердого раствора $Ti_{1-x}Al_xN$, в процессе которого домены с-AlN трансформируются в стабильную гексагональную фазу w-AlN (вюрцит), вызывая резкое снижение твердости и износостойкости покрытий [1,2]. Дальнейшие перспективы повышения твердости и увеличения рабочих температур покрытий TiAlN связаны с их дополнительным легированием. В частности, легирование Ta позволяет не только существенно увеличить твердость и трещиностойкость покрытий TiAlN [3-5], но и повысить температуру образования в них фазы w-AlN вплоть до 1200 °С, что обеспечивает сохранение высокой твердости покрытий при повышенных температурах [6,7]. В то же время зависимость структуры и свойств покрытий TiAlTaN от содержания Ta на сегодняшний день изучены недостаточно, хотя известно, что характеристики многоэлементных покрытий существенно зависят от концентрации в них различных элементов. Поэтому целью данной работы является исследование влияния легирования Ta на морфологию поверхности, микроструктуру и механические характеристики покрытий TiAlN.

Покрытия TiAlTaN наносили на титановые подложки методом реактивного магнетронного распыления в среде из смеси газов аргона и азота. Температура подложки составляла 275 °С. Исследование морфологии поверхности и поперечного сечения покрытий проводили методами сканирующей электронной и атомно-силовой микроскопии. Для изучения структуры покрытий использовали метод рентгеновской дифракции. Механические характеристики изучали методом наноиндентирования.

Показано, что независимо от содержания Ta покрытия TiAlTaN характеризуются мелкозернистой морфологией поверхности со средним размером зерен 120-180 нм. Среднеквадратичная шероховатость поверхности составляет 6-7 нм. Исследования поперечного сечения покрытий TiAlTaN выявили, что они обладают столбчатой зеренной

структурой. При этом средний поперечный размер зерен оказывается несколько меньше, чем на поверхности покрытий и составляет 100-150 нм.

Установлено, что повышение содержания тантала в покрытиях с 13,5 до 50 ат. % приводит к росту их твердости с 30,5 до 37,5 ГПа. В то же время зависимость эффективного модуля упругости от количества Ta носит сложный характер. Последнее обуславливает нелинейное изменение отношения твердости к модулю упругости, которое определяет такие характеристики покрытий, как предельная упругая деформация, вязкость разрушения и критическая нагрузка для начала пластической деформации, и тем самым позволяет прогнозировать их износостойкость. В результате проведенных исследований определено оптимальное содержание Ta, обеспечивающее максимальное улучшение механических свойств покрытий Ti-Al-Ta-N.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант №18-19-00589).

Список литературы

1. Grossmann B. et al. High-temperature tribology and oxidation of $Ti_{1-x-y}Al_xTa_yN$ hard coatings // Surface and Coatings Technology. – 2018. – Т. 342. – С. 190-197.
2. Koller C. M. et al. Thermal stability and oxidation resistance of arc evaporated TiAlN, TaAlN, TiAlTaN, and TiAlN/TaAlN coatings // Surface and Coatings Technology. – 2014. – Т. 259. – С. 299-607.
3. Seidl W. M. et al. Improved mechanical properties, thermal stabilities, and oxidation resistance of arc evaporated Ti-Al-N coatings through alloying with Ta // Surface and Coatings Technology. – 2018. – Т. 344. – С. 244-249.
4. Sui Xudong et al. Effect of Ta content on microstructure, hardness and oxidation resistance of TiAlTaN coatings // Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials. - 2016. – Т. 58. – С. 152-156.
5. Sui Xudong et al. Improved surface quality of layered architecture TiAlTaN/Ta coatings for high precision micromachining // Surface and Coatings Technology. – 2017. – Т. 320. – С. 298-303.
6. Rachbauer R. et al. Increased thermal stability of Ti-Al-N thin films by Ta alloying // Surface and Coatings Technology. – 2012. – Т. 211. – С. 98-103.
7. Hollerweger R. et al. Origin of high temperature oxidation resistance of Ti-Al-Ta-N coatings // Surface and Coatings Technology. – 2014. – Т. 257. – С. 78-86.