

СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ Zr-Ti-Si-N и Ti-Hf-Si-N

Береснев В.М., Грудницкий В.В., Дробышевская А.А.⁽¹⁾, Турбин П.В.⁽¹⁾, Маликов Л.В.⁽¹⁾

Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина,
пл. Свободы 4, г. Харьков, Украина, 61022, beresnev-scpt@yandex.ru
⁽¹⁾Научный физико-технологический центр МОНМС и НАН Украины
пл. Свободы 6, г. Харьков, Украина, 61022

Среди тугоплавких соединений, показавших высокие физико-механические характеристики – твердость (> 40 ГПа), термическую стабильность (> 1200 °С), коррозионную устойчивость и т. п., особое место занимают нанокристаллические композиты систем $(Me_x^1, Me_{1-x}^2)_N$, полученные в виде твердых растворов внедрения. Нанокристаллические покрытия, содержащие наряду с нанометровыми кристаллитами достаточно протяженные границы раздела с частично неупорядоченной структурой, обладают новыми свойствами по сравнению с крупнозернистыми материалами такого же состава. Методом вакуумно-дугового осаждения из цельнолитых катодов Zr+Ti+Si и Ti+Hf+Si в среде азота сформированы многокомпонентные нанокомпозитные покрытия Zr-Ti-Si-N и Ti-Hf-Si-N. Покрытия Zr-Ti-Si-N и Ti-Hf-Si-N осаждались на образцы из стали 3 диаметром 20 мм и толщиной 3 мм. Для синтеза покрытий применялся вакуумно-дуговой источник установки «Булат-3Т» с ВЧ генератором. Потенциал смещения подавался на подложку от ВЧ-генератора, генерировавшего импульсы затухающих колебаний с частотой ≤ 1 МГц, длительностью каждого импульса 60 мкс, с частотой повторения ≈ 10 КГц. Величина отрицательного автосмещения потенциала на подложке, благодаря ВЧ диодному эффекту, составляла $2 \div 3$ кВ. По результатам электронной микроскопии установлено, что синтезированные покрытия обладают столбчатой структурой. Полученные сверхтвердые покрытия Zr-Ti-Si-N и Ti-Hf-Si-N характеризуются различной стехиометрией, зависящей от условий осаждения. Область когерентного рассеивания твердого раствора (Ti,Hf)N наноструктурированного покрытия изменяется от 4 до 11 нм, при толщине прослойки из α -Si₃N₄ в $0,8 \div 1,2$ нм, окружающей нанозерна твердого раствора (Ti, Hf)N. Нанотвердость покрытий изменяется от 36,4 до 48,6 ГПа в зависимости от давления

рабочего газа в камере и потенциала смещения, подаваемого на подложку. Усредненная твердость покрытий на основе системы Zr-Ti-Si-N $H = 40,8$ ГПа при модуле упругости 392 ГПа. Размер кристаллитов в покрытиях Zr-Ti-Si-N наблюдался в пределах $15 \div 20$ нм.

Предварительные испытания коэффициента трения при износе на синтезированных покрытиях показали, что образцы с высокой твердостью и хорошей морфологией поверхности имеют низкие значения коэффициента трения и стабильны по всей длине износа (канавки) до разрушения покрытия. Коэффициент трения в контакте покрытие-контртело (шарик из Al₂O₃) для покрытия Ti-Hf-Si-N наблюдался в пределах $0,736 \div 0,582$, а для покрытия Zr-Ti-Si-N по результатам склерометрических измерений – $0,705$. Исследование процесса разрушения покрытий, свидетельствует, что в зависимости от элементного состава адгезионная прочность изменяется от 20 Н до 45 Н.

Варьирование условий формирования нанокомпозитных покрытий Zr-Ti-Si-N и Ti-Hf-Si-N приводит к значительной деформации решетки кристаллитов, определяющей развитие в пленках сжимающих напряжений, достигающей значений $5 \div 7$ ГПа.

Изменение модуля импульсного ВЧ потенциала смещения от 100 В до 200 В приводит к формированию текстуры (111) в плоскости осаждения покрытий. Наиболее высокая текстурированность покрытия Zr-Ti-Si-N наблюдается на пучках без сепарации при потенциале смещения 200 В и давлении азота $P = 0,3$ Па. Определена стехиометрия состава пленки Ti-Hf-Si-N, которая изменяется от (Ti₄₀-Hf₉-Si_{7,5})N₄₆ до композиции (Ti₂₈-Hf₁₈-Si₉)N₄₅, а также изменяется значение параметра решетки твердого раствора (Ti, Hf)N. Тжиг покрытий в вакууме приводит к снижению деформации решетки кристаллитов, а также к некоторому повышению твердости за счет частичного распада твердых растворов (Zr, Ti)N, (Ti, Hf)N и формирования аморфной фазы нитрида кремния β -Si₃N₄.