

УДК 621.793.7:621.762

МОРФОЛОГИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ МОДИФИКАЦИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ КОМПРЕССИОННЫМИ ПОТОКАМИ

Ф. И. ПАНТЕЛЕЕНКО¹, В. А. ОКОВИТЫЙ¹, О. Г. ДЕВОЙНО¹,
В. В. ОКОВИТЫЙ¹, А. А. ЛИТВИНКО¹, В. М. АСТАШИНСКИЙ²

¹Белорусский национальный технический университет

²Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Введение. Основная функция у подслоев в плазменных покрытиях – максимальная пластическая релаксация напряжений, причиной которых является несогласованное изменение объемов керамических и металлических материалов в процессе нагрева и охлаждения покрытий. Материал подслоя должен обладать высокой жаростойкостью, поскольку показатели пластичности сплавов катастрофически уменьшаются в процессе их высокотемпературного окисления, к тому же слой керамики является проницаемым для газов. Комплексно решить данные задачи трудно, для этого необходима оптимизация химического и фазового состава. Тем не менее эффективность у защитных покрытий существенно повышается при модифицировании их структуры последующей высокоэнергетической обработкой. При обработке плазменных покрытий высокоэнергетические источники энергии имеют свои преимущества: высокая концентрация подводимой энергии и локальность, что позволяет обработать необходимый участок покрытия без перегрева всего объема и искажения его структуры и свойств; возможность точного управления параметрами воздействия, позволяющая производить регулирование структуры у обрабатываемого слоя, параметров его твердости, износостойкости, шероховатости, геометрических размеров и значительно уплотнить обрабатываемый слой покрытия, устранить общую пористость, снизить параметры шероховатости.

Морфология покрытий, модифицированных компрессионными плазменными потоками. При воздействии компрессионными плазменными потоками на многослойные покрытия, сформированные на подложках и состоящие из твердого слоя оксидной фазы (Al_2O_3 ; $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--TiO}_2$; $\text{ZrO}_2\text{--Y}_2\text{O}_3$) и вязкого подслоя (Ni--Cr--Al--Y ; Ni--Cr), имеет место модифицирование у покрытия приповерхностного слоя. Анализ микроструктуры, термостойкости и механических характеристик дал возможность найти общие характеристики влияния воздействий компрессионной плазмы на такие покрытия. Тепловой эффект является одним из основных при воздействии компрессионного плазменного потока на поверхность исследуемых покрытий, способствует нагреву приповерхностного слоя. Перемешиванию расплавленного слоя и гомогенизации его элементного состава способствует высокий градиент температуры ($\sim 10^5$ К/м), возникающий в расплавленном слое покрытия, который сопровождается механическим воздействием плазменного потока на

поверхность расплава. Давление со стороны ударно-сжатого слоя вызывает развитие гидродинамических неустойчивостей на межфазных границах. Оксид циркония ZrO_2 в соответствии с равновесными диаграммами состояния двойных систем $Al-O$ и $Zr-O$ имеет широкую область гомогенности, начиная с концентрации кислорода 40 % атомных долей, оксид Al_2O_3 существует в узких концентрационных рамках. Поэтому покрытия, базирующиеся на основе оксида циркония ZrO_2 , более предпочтительны из-за сохранения оксидных модификаций приповерхностного слоя после воздействий компрессионными плазменными потоками, приводящими к изменению в соотношениях атомов металла и кислорода. Гидродинамическое перемешивание расплавленного слоя и частичное испарение атомов из расплава приводят к снижению концентраций у примесных атомов, находящихся в покрытии по технологическим причинам. У поверхности полученных покрытий на базе оксидов повышенная шероховатость, объясняемая спеканием части частиц порошкового материала при формировании покрытия. Происходит гидродинамическое перемешивание расплава из-за воздействия компрессионным плазменным потоком, при этом силы поверхностного натяжения сглаживают поверхности, сформированные после процесса кристаллизации. Скоростная кристаллизация расплава вызывается высокой скоростью охлаждения из-за интенсивного теплоотвода в нерасплавленную часть образца, поэтому возникают поверхностные трещины в закристаллизовавшейся твердой фазе благодаря высокому уровню механических напряжений. Вид обрабатываемого покрытия не влияет на количество трещин или их пространственную локализацию и средний размер. Оптимальными для практического применения являются покрытия на основе $Ni-Cr-Y-Al$, поскольку в них присутствуют и элементы твердого оксидного слоя (иттрий), и элемент подложки (алюминий). Это приводит к повышенной адгезионной прочности и уменьшению отслаивания отдельных слоев при внешних воздействиях. Модифицированию механических свойств способствуют структурные изменения в приповерхностном слое покрытий под воздействием компрессионных плазменных потоков. Повышаются механические характеристики у поверхности, снижаются коэффициенты трения из-за эффекта сглаживания поверхности, возрастания плотности приповерхностного слоя и резкого снижения макродефектов в виде пор и макротрещин. Тем не менее необходимо проводить очень точную оптимизацию технологических параметров процесса высокоэнергетического воздействия из-за возможности возникновения в обработанном слое большого количества трещин у поверхности, что может негативно сказаться на коэффициенте трения, вызывая его увеличение. Они инициируют внутренние напряжения и вызывают разрушение покрытия с повышением интенсивности у абразивного износа. Такое разрушение поверхности имеет место во время проведения трибологических испытаний у модифицированных покрытий на базе оксида алюминия Al_2O_3 . При испытаниях зафиксировано увеличение коэффициентов трения. У покрытий на базе оксида циркония ZrO_2 снижаются коэффициенты трения после воздействий компрессионных плазменных потоков из-за формирования на поверхности упрочненного слоя на основе нитрида циркония ZrN .