

СПОСОБ НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ ПЛАЗМЕННО-КЛАСТЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ

С.В. Савушкина, М.Н. Полянский, Т.А. Евдокимова
Государственный научный центр Федеральное государственное
унитарное предприятие имени М.В. Келдыша
E-mail: nanocentre@kerc.msk.ru

Одним из перспективных методов получения покрытий является плазменно-кластерный метод. Он позволяет формировать толстые многослойные теплозащитные, а также износостойкие покрытия.

Плазменно-кластерная технология основана на подаче напыляемого порошкового материала в канал плазмотрона, в котором происходят различные теплофизические превращения (плавление, диспергирование, испарение, конденсация напыляемого материала в плазмотроне и в струе), разгон двухфазного потока в сопле и в струе, расширяющейся в среду с пониженным давлением (рис. 1). Частицы с размером 10 мкм и меньше разгоняются до скоростей более 1 км/с. [1].

Исходный порошок диспергируют либо в плазмотроне, либо полностью испаряют его в канале с последующей конденсацией в сопле и в струе. Размеры получающихся при этом частиц (кластеров) будут изменяться в диапазоне 10 – 1000 Å. Структура полученных покрытий состоит из слоев пластифицированных дискообразных частиц, покрытых частицами нанометрового размера, которые образуются в результате кластеризации паровой фазы в потоке [2]. Эти частицы способствуют более прочному сцеплению как отдельных частиц, так и их слоев, образовавшихся в результате разных проходов.

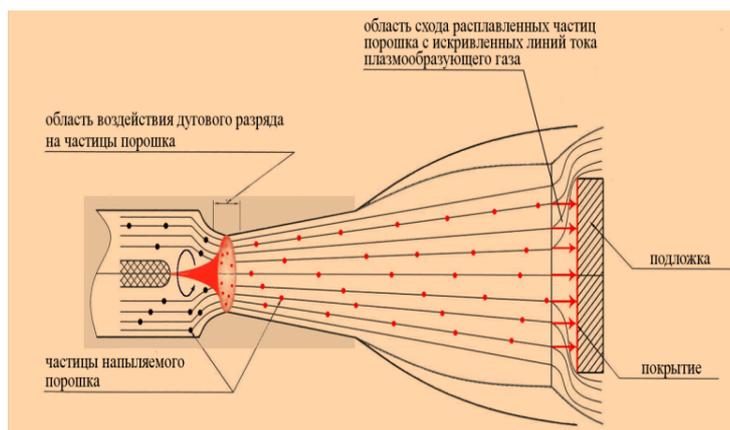


Рис. 1. Схема плазменно-кластерного напыления покрытий

Во многих случаях полученные покрытия обладают коэффициентом температурного расширения (КТР), как правило, в 2-3 раза отличающимся от КТР подложки, что приводит при наличии многократных термоциклических нагрузок к появлению трещин в покрытии и его разрушению.

Для улучшения рабочих характеристик покрытия при многократных термоциклических нагрузках предлагается способ продольного послойного наноструктурирования. Способ заключается в напылении покрытия через маску с отверстиями и перемычками между ними (рис. 2). Таким образом, механизм образования покрытий в открытых и затененных областях разный. В области отверстий происходит образование обычного плазменно-кластерного покрытия со структурой, состоящей из сильно пластифицированных частиц. А в области затенения реализуется течение Прандтля-Майера - сверхзвуковое обтекание перемычки паровой фазой материала в маске с образованием веера волн разряжения, проходящий который из паровой фазы напыляемого материала конденсируются наночастицы [3]. Затем они выпадают на подложку и образуют узкие полосы в покрытии, состоящие целиком из наночастиц, при практически полном отсутствии пор между ними.

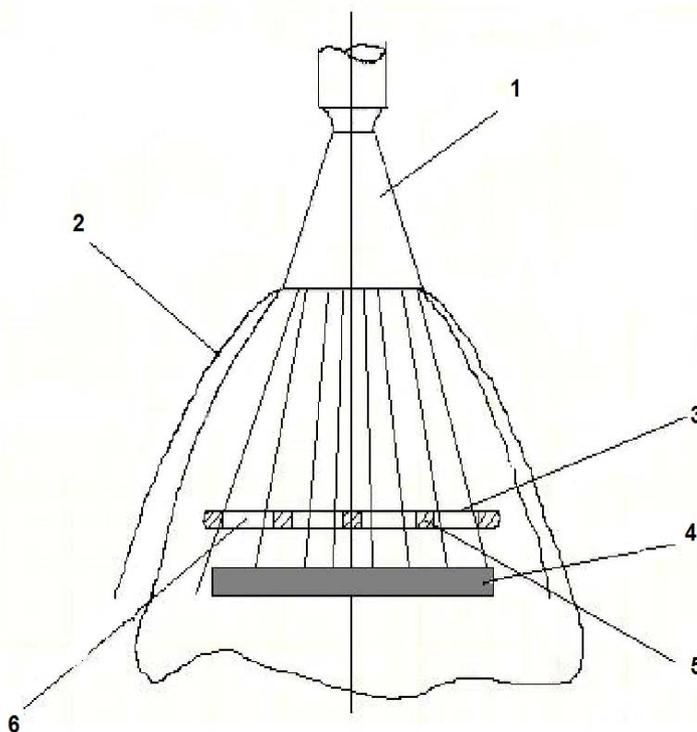


Рис. 2. Схема эксперимента. 1 — сверхзвуковое сопло плазматрона , 2- висячий скачок уплотнения, 3 - маска, 4- подложка, 5- отверстие в маске, 6 — перемычка между отверстиями.

На рис.3 показаны изображения с растрового электронного микроскопа морфологии полученных покрытий в области отверстий (а) и в области затенения (б). В области квадратов покрытие характеризуется крупными пластифицированными частицами размером до 50 мкм и крупными порами. В области «затенения» частицы покрытия размером менее 1 мкм и наночастицы.

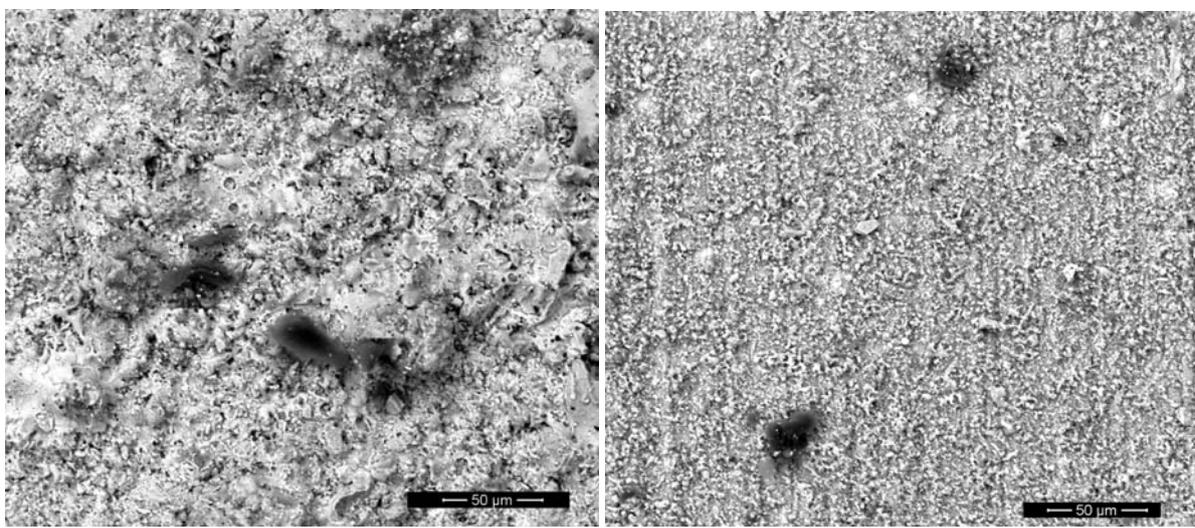


Рис.3. а) Структура обыкновенного плазменно-кластерного покрытия, образующегося в результате пластификации расплавленных частиц порошка в области отверстий, б) Структура, состоящая из мелких частиц, образующаяся при течении Прандтля- Майера в затененных областях.

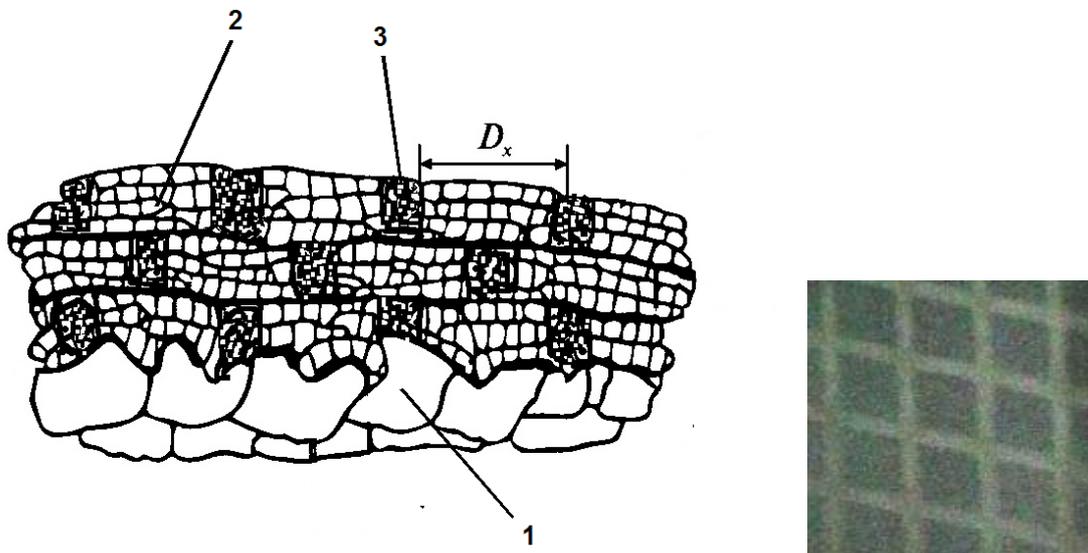


Рис. 4. Схематическое изображение структуры типа «решетка» и внешний вид поверхности.

1 -Подложка, 2 — Области из пластифицированных частиц, 3 — Области из мелких частиц, образованных при реализации течения Прандтля -Майера.

Таким образом, в продольном направлении образуется ячеистая структура покрытия, состоящая из областей обычного сплошного покрытия и узких полос, окаймляющих эти области, состоящие из мелких частиц. Такая структура покрытия приводит к тому, что в случае приложения к покрытию многократных термоциклических нагрузок заметные трещины, вызванные отличием КТР материала покрытия и материала подложки, не образуются из-за малых размеров по абсолютной величине областей с обычным покрытием. В случае возможного образования, трещина не выходит за пределы этой области, т.к. она окружена полосой покрытия, состоящего из наночастиц, обладающих более высокими прочностными характеристиками, хотя и меньшими защитными свойствами.

Затем маску сдвигают в продольном направлении относительно

нанесенного слоя покрытия на величину меньшую, чем размер ячейки наносится следующий слой наноструктурированного в продольном направлении покрытия. Схематическое изображение и внешний вид подобной структуры приведено на рис. 4.

В результате образуется многослойное защитное наноструктурированное в продольном направлении покрытие на подложке, воздействие на которое многократных термоциклических нагрузок не приведет к разрушению покрытия из-за наличия в слоях перемычек из наночастиц, обладающих повышенной адгезионной прочностью на интерфейсе между слоями и областями с обычным покрытием внутри каждого слоя.

1. А. В. Иванов, Полянский М.Н., Ребров С.Г. Плазменно – кластерное нанесение тугоплавких покрытий. Физика. изд. Томского университета. №8. 2006.
2. Полянский М.Н., Савушкина С.В, Ризаханов Р.Н. Получение наноструктур в покрытиях, напыляемых плазменно-кластерным методом. Всероссийская школа-семинар студентов, аспирантов и молодых ученых «Функциональные наноматериалы для космической техники», г. Москва. 01-03 декабря, 2010
3. Евдокимова Т.А., Полянский М.Н. Гетерогенная конденсация с образованием наночастиц в течении Прандтля-Майера. Всероссийская школа-семинар студентов, аспирантов и молодых ученых «Функциональные наноматериалы для космической техники», г. Москва. 01-03 декабря, 2010.