

Влияние морфологии поверхности на физические свойства материалов

Ю.В. Брылкин, А.Л. Кусов

Центральный научно-исследовательский институт машиностроения

Комплексные расчётно-экспериментальные исследования теплообмена аппаратов, движущихся с гиперзвуковой скоростью не учитывают данные об отклонении реальной геометрической формы от заданной. Однако необходимо уделять внимание увеличению аэродинамических тепловых потоков в зависимости от длительности полёта

При испытаниях материалов в потоках диссоциированных газов физические и химические свойства поверхностного слоя существенно изменяются. Все гетерогенные процессы начинаются с адсорбции частиц (атомов или молекул) на активных центрах поверхности. На реальной поверхности, имеющей неровности, как связанные с технологией изготовления материала, так и образовавшиеся в результате воздействия плазменного потока, количество активных центров может быть существенно больше, нежели на моделируемой.

В данном исследовании проведен анализ зависимости теплового потока (по показаниям нестационарного датчика калориметрического типа) от структуры рельефа (на уровнях, близких к нанометровым) различных материалов: полированного алюминиевого сплава (рис. 1а); полированного никелевого сплава (рис. 1б); полированного титанового сплава (рис. 1в); полированной стали 20 (рис. 1г); полированного медного сплава М1 (рис. 1д); шероховатого медного сплава М1 (рис. 1е).

Для адекватности сравнения получаемых данных перед началом исследования образцы а)-д), представленные на рисунке 1 были отполированы на шлифовально-полировальном станке Struers Tegramin-30 до чистоты $Rz=1.6$, а поверхности образца е) была придана шероховатость $Rz=80$.

Тепловое нагружение проводилось в аэродинамической установке с высокочастотным индукционным нагревом (ВЧ-плазмотрон, ФГУП ЦНИИмаш). Принцип работы установки описан в работах [1], [2]. Все эксперименты проводились на дозвуковом режиме истечения газа из разрядной камеры (диаметр среза $D = 180$ мм) с давлением $p = 25$ мбар и мощностью по анодному питанию $N = 100$ кВт. Образец устанавливался на расстоянии $L = 60$ мм от среза. Расход плазмообразующего газа (азота и воздуха) составлял $G = 5.1$ г/с.

Так же получены коэффициенты зеркального отражения для представленных образцов, и проведён фрактальный анализ топологии поверхности на основании данных сканирующей туннельной микроскопии.

Как следует из результатов, медь не является абсолютно каталитичным материалом. При увеличении шероховатости увеличивается тепловой поток на медный калориметр. В соответствии с работой [3], это означает, что вероятность α гетерогенной рекомбинации атомов азота и кислорода на меди меньше 1.

Таким образом, проведённое экспериментальное исследование показало хорошую корреляцию между увеличением значения фрактальной размерности, характеризующим развитую (шероховатую) поверхность и оптическими показателями.

Выводы:

При увеличении шероховатости увеличивается фрактальная размерность и повышается тепловой поток на поверхности образца;

На тепловой поток заметно влияет топология поверхности на уровне, близком к нанометровому;

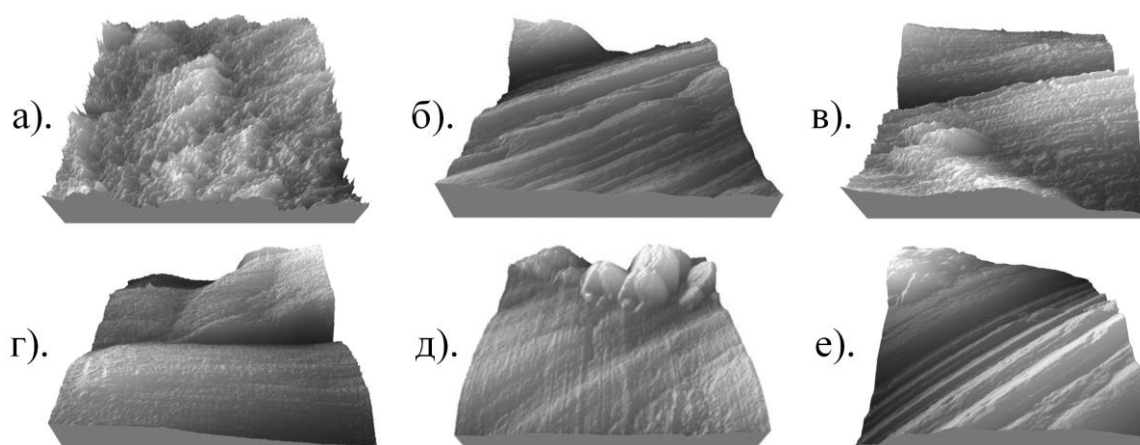


Рис.1. Объёмная визуализация снимков сканирующего туннельного микроскопа:

- а) алюминиевый сплав; б) никелевый сплав; в) титановый сплав; г) сталь 20;
д) медный сплав М1 (полированный); е) медный сплав М1 (шероховатый).

Литература

1. *Залогин Г.Н. [и др.]* Получение наноструктурированных материалов и покрытий на высокочастотном индукционном плазматроне // Перспективные материалы. – М.: Интерконтакт Наука, №11, 2011, с. 19-24
2. *Брылкин Ю.В.* Исследование фрактальной структуры нитрида титана, нанесённого на подложку из нержавеющей стали // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов: межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, Вып. 6, 2014, с.60-66.
3. *Брылкин Ю.В., Кусов А.Л.* Моделирование структуры рельефа реальных поверхностей на основе фракталов в аэродинамике разреженных газов // Космонавтика и ракетостроение, №3(76), 2014, с. 22-28.