

охлаждения 0,7 °С/мин, а для охлаждения с вентилятором (2, 3) 6,7 °С/мин и 2,1 °С/мин, соответственно.

Из полученных данных можно сделать вывод, что применение ускоренного охлаждения центробежным вентилятором в атмосфере азота в температурном диапазоне 700–450 °С позволяет увеличить скорость охлаждения в 2,5 раза по сравнению с естественным охлаждением, а на участке 300–200°С скорость охлаждения увеличивается в 4 раза.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кацевич Л.С. Расчет и конструирование электрических печей. – М.: Государственное энергетическое издательство. 1959. – 440 с.

УДК 621.793

Панок Е.О.

### **ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ TiN, TiAlN НА ЛОПАТКИ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

*Белорусский национальный технический университет*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: ст. преподаватель Орлова Е.П.*

Компрессорные лопатки являются ответственными деталями газотурбинного двигателя. После длительной эксплуатации они подвергаются коррозионному, эрозионному и усталостному разрушению.

Для повышения надежности и ресурса работы компрессорных лопаток разрабатываются новые марки коррозионностойких высоколегированных сталей и титановых сплавов, а также за счет применения защитных покрытий.

Защитные покрытия должны обладать высокой прочностью, пластичностью, вязкостью, коррозионной и эрозионной стойкостью, а также адгезионной прочностью с основой. Этими свойствами обладают ионно-плазменные покрытия нитридов титана, нанесенные методом катодно-ионной бомбардировки (КИБ).

Рассмотрим нанесение нитрида титана методом КИБ.

Перед нанесением покрытия лопатки подвергаются полировке до шероховатости не выше Rz 0,63 и очистке в ультразвуковой ванне.

Следующим этапом является непосредственно нанесение покрытия. Лопатки помещают в вакуумную камеру, устанавливая в специальное приспособление, и производят очистку ионами инертного газа, в данном случае ионами аргона. Когда аргон заполнит камеру до давления 1–2 Па осуществляют подачу отрицательного короткоимпульсного высокочастотного потенциала смещения на подложку длительностью до 5 мкс при разности потенциала смещения до 2–4 кВ. После окончания ионной очистки производят замену плазмы аргона на плазму реакционного газа – азота, и осуществляют ионную имплантацию азота в поверхностный слой лопаток. Параметры потенциала смещения остаются прежними. Далее осуществляют формирование плазмы титана, путем точечного испарения материала катода в котором концентрируется вся мощность разряда. Одновременно с испарением титана на лопатки подают высокочастотный потенциал смещения при амплитуде 1–2 кВ. При достижении температуры на лопатке 400–450 °С потенциал смещения снижают до 400–600 В в импульсно-периодическом режиме или до 200–300 В при постоянном потенциале. Подслой титана и первый слой нитрида титана наносят толщиной 150–200 нм. При этом лопатки дополнительно нагреваются инфракрасными нагревателями.

Многослойные покрытия получают с применением одноэлементных катодов из Ti, Al и/или композиционных катодов – TiAl в среде реакционного газа – азота.

Слой TiAlN наносят со следующим стехиометрическим составом: Ti – 23-28 %, Al – 23-28 %, N – 44-54 %, а при структуре слоя TiN-Ti – 44-54 %, N – 56-46 %.

Многослойные покрытия получают при токах вакуумнодугового разряда на одноэлементных катодах: на Al – 75-83 А, на Ti – 100-115 А. Толщину покрытия наносят порядка до 10 мкм. Количество и толщину слоев, входящих в покрытие, задают скоростью перемещения изделий от одного источника плазмы к другому. Плазму очищают от микрокапельной фракции с помощью плазменных фильтров- сепараторов.

В таблице 1 представлены свойства лопаток (сплав ВТ18У) с покрытием и без покрытия.

Таблица 1. Свойства лопаток (сплав ВТ18У) с покрытием и без

Сводная таблица измерений твердости покрытий		
	Твердость, HV	Модуль Юнга, ГПа
Без покрытия	458 ± 80	108
TiN	2820 ± 392	332 ± 36
TiAlN	3500	360 ± 72

Данные покрытия позволяют повысить микротвердость рабочей поверхности почти в 10 раз, улучшить антикоррозионные свойства, повысить эрозионную стойкость рабочей поверхности и продлить общий срок службы лопаток компрессора.

УДК 539.23

Погадаев В.А.

## ПОЛУЧЕНИЕ ГРАФЕНА

*Белорусский национальный технический университет*

*г. Минск Республика Беларусь*

*Научный руководитель: канд. техн. наук,*

*доцент Комаровская В.М.*

Термин «графен» обычно означает один или более атомных слоев графита, например, монослой графена, который расширяется до определенного количества слоев графита, количество которых может быть до десяти. Графен дает возможность получить уникальные оптоэлектронные свойства, не встречающиеся в обычных электронных материалах. Это обусловлено линейным дисперсионным соотношением (структура частиц похожа на стекло), это приводит к тому, что носители зарядов в графене имеют нулевую массу покоя и ведут себя подобно релятивистским частицам (не обладают кинетической энергией).

Минимальная толщина слоя покрытия, может составлять лишь один атом, но так как графен является химически и термически устойчивым, то возможно успешно производить устройства на его основе, которые устойчивы к воздействию окружающей среды.

Авторы работы [1] провели исследование структуры графена и разработали метод его нанесения. Данный метод заключается