

# Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

А. Л. Бурыкина, Т. В. Дубовик, Т. М. Евтушок, А. Н. Краснов, Покрытия из нитрида алюминия на графите, *ТВТ*, 1965, том 3, выпуск 6, 940–942

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением <http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.9.172

17 января 2025 г., 20:32:52



Результаты опытов этой серии также приведены на рис. 3. Как видно из графиков, локальные значения величины критического теплового потока  $q_{кр}$  для раствора вода — бутиловый спирт при неравномерном обогреве на 60—65% выше, чем при равномерном подводе тепла, и при недогреве 120—130° достигают величины  $(310—320) \cdot 10^6$  ккал·м<sup>-2</sup>·час<sup>-1</sup>.

Киевский политехнический институт

Поступило в редакцию  
19 II 1965

#### ЛИТЕРАТУРА

1. A. Voss, S. Van-Stralen. Chem. Eng. Sci., 5, 1956.
2. В. Г. Фастовский, Р. И. Артым. Теплоэнергетика, № 8, 1958.
3. А. П. Орнатский, Л. С. Винярский. Теплофизика высоких температур, 3, 1965.
4. С. С. Кутателадзе. Основы теории теплообмена. Машгиз, 1962.
5. Г. И. Бобрович, С. С. Кутателадзе. Прикл. матем. и техн. физ., 2, 1964.

УДК 546.171:546.621

### ПОКРЫТИЯ ИЗ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ НА ГРАФИТЕ

*А. Л. Буркина, Т. В. Дубовик, Т. М. Батушон, А. Н. Краснов*

Нитрид алюминия обладает хорошими электроизоляционными свойствами при высоких температурах, высокой термостойкостью, устойчивостью против действия агрессивных сред и удовлетворительной механической прочностью. Физико-химические свойства нитрида алюминия дают возможность применять его для изготовления различных изделий, работающих в восстановительной атмосфере: муфельей, тиглей, горелок, распылителей, футеровки печей, трубопроводов для перекачки расплавленных металлов и др. [1—5]. Наряду с этим представляет практический интерес использование нитрида алюминия в качестве покрытий на металлах, керамике и, что особенно перспективно, на графите — материале, имеющем наиболее широкое применение в технике высоких температур. Получение таких покрытий на графите позволяет уменьшить его реакционную способность и склонность к окислению при нагреве.

В настоящей работе исследовалась возможность получения покрытий из нитрида алюминия на графите методом плазменного напыления алюминия с последующим азотированием металлического слоя. Напыление алюминия производилось на стандартной плазменной установке УПУ-2М по схеме проволока — открытый анод. Принцип работы такой установки основан на вводе плазмообразующего газа в зону электрической дуги, горящей между вольфрамовым электродом — катодом и распыляемой алюминиевой проволокой — анодом. Частично ионизированный в зоне дуги газ выбрасывается за пределы медного сопла в виде струи, имеющей высокую скорость и температуру. Струя плавит и распыляет металл, который осаждается на поверхности изделий, внесенных в ее зону, причем толщина получаемого покрытия линейно зависит от времени процесса. В качестве плазмообразующего газа был использован аргон, распылялась алюминиевая проволока АВ-000 диаметром 2 мм.

В работе исследовались влияние параметров процесса плазменного напыления: силы тока, величины дугового промежутка, расхода и давления плазмообразующего газа на плотность напыляемого слоя и прочность сцепления его с графитом. В результате найден оптимальный режим получения на графите покрытия из алюминия: напряжение — 65 в, сила тока — 90 а, дуговой промежуток — 7 мм, расход аргона — 30 л·мин<sup>-1</sup>, давление аргона — 1 атм, скорость подачи проволоки 6,5 м·мин<sup>-1</sup>, расстояние от сопла до напыляемой поверхности — 200 мм.

При металлографическом исследовании напыленных образцов было установлено, что сцепление металлического слоя с графитом осуществляется лишь за счет механического закрепления частичек металла на поверхности образца. Вследствие большой скорости истечения струи капли металла приобретают значительную кинетическую энергию и при ударе о поверхность хорошо заполняют неровности и поры. В связи с этим перед напылением целесообразно проводить соответствующую обработку поверхности, чтобы сделать ее шероховатой.

Азотирование алюминиевого слоя производилось в графитово-трубчатой печи сопротивления в среде азота. Образцы помещали в печь в графитовых лодочках при температуре 500°С, максимальная температура азотирования составляла 1000—2000°. Алюминий имеет сравнительно низкую температуру плавления (660°), поэтому важен правильный выбор скорости нагрева при азотировании. Нагрев должен осуществляться без оплавления покрытия, так как это привело бы к резкому сокращению удельной поверхности слоя и, следовательно, к уменьшению его реакционной способности. В настоящем исследовании была принята скорость нагрева

9—10 град·мин<sup>-1</sup>, ранее рекомендованная в технологии производства порошка нитрида алюминия [6]. Выдержка при максимальной температуре азотирования подбиралась в зависимости от толщины нанесенного слоя алюминия.

Были исследованы различные температурные режимы азотирования и засыпки (см. табл.) для получения однородного слоя нитрида алюминия по всей толщине покрытия. Засыпка в технологии производства изделий из тугоплавких соединений

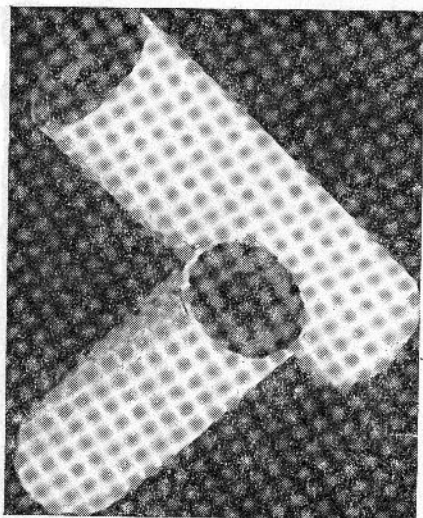


Рис. 1. Графитовые образцы с покрытиями из нитрида алюминия

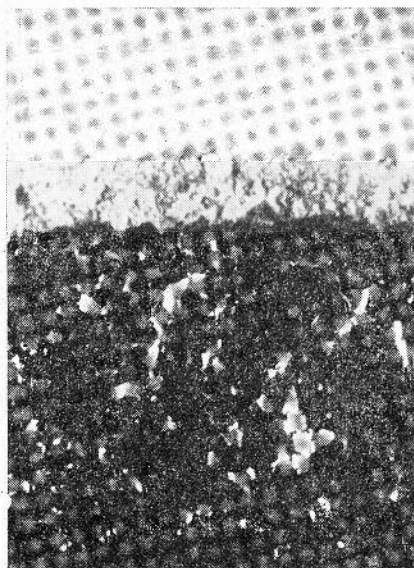


Рис. 2. Микроструктура покрытия из нитрида алюминия на графите.  
50X

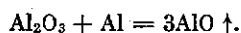
применяется главным образом для выравнивания температурного поля по длине образца и предотвращения взаимодействия его с материалом лодочки. Однако в данном случае оказалось, что засыпка играет решающую роль и в процессе азотирования. Как показали металлографический и рентгеноструктурный анализы, азотирование алюминия без засыпки или в засыпке из нитрида бора приводит к образованию

*Разработка режима азотирования слоя алюминия на графите*

Температура, °C	Время, час	Засыпка	Характеристика покрытия
1000	1	Без засыпки, образец в «лодочке»	Проазотировался очень тонкий поверхностный слой алюминия
1300	1	То же	Алюминий частично испарился, проазотировался тонкий слой
1600	0,5	»	Алюминий испарился
1200	1,5	Без засыпки, образец подвешен	Ровномерный, но очень тонкий (несколько микрон) слой AlN
1600	1	Засыпка из нитрида бора	Проазотировался тонкий слой алюминия
2000	1	То же	Алюминий частично испарился, проазотировался тонкий слой
1900	1	Засыпка из спека борного ангидрида с сажей	Покрытие состоит из нитрида алюминия с примесью нитрида бора
2000	1	То же	То же
1200	0,5	«Подушка» из алюминиевого порошка	Алюминий частично испарился; участки, соприкасающиеся с засыпкой, проазотировались на большую глубину
1300	0,5	Засыпка из алюминиевого порошка	Образец деформировался в результате спекания засыпки, но покрытие частично проазотировалось насекоез по сечению
1300	0,5	Засыпка из алюминиевой пудры	Слой алюминия проазотировался полностью равномерно по сечению

очень тонкого поверхностного слоя нитрида алюминия (несколько микрон), так как прохождению реакции в этих случаях препятствует окисная пленка, которой покрыт алюминиевый слой. При применении в качестве засыпки спек борного ангидрида с сажей слой алюминия азотируется полностью, что связано с разрушением окисной пленки вследствие действия на нее борного ангидрида, однако слой нитрида алюминия оказывается загрязненным нитридом бора. При использовании в качестве засыпки алюминиевого порошка происходит частичное спекание его, в результате чего доступ азота к покрытию затрудняется и азотирование протекает неравномерно по глубине слоя.

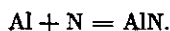
Хороший результат был получен при азотировании покрытия в засышке из алюминиевой пудры. Пудра имеет большую реакционную поверхность, а так как каждая частица алюминия покрыта пленкой окисла, то при нагреве, очевидно, происходит взаимодействие этой пленки с алюминием частицы по реакции



Известно, что упругость пара всегда выше над поверхностью частиц с меньшим радиусом кривизны; в данном случае, чем меньше частица, тем очистка ее поверхности от окисла происходит активнее. Поэтому очевидно, что большую роль в очищении поверхности покрытия от пленки окисла должны сыграть частицы пудры, которые легко освобождаются от кислорода и в свою очередь могут принять его с поверхности покрытия:



Очищенное от окислов покрытие алюминия азотируется по всей толщине:



На поверхности графита образуется однородный, плотно прилегающий к подложке слой, целиком состоящий из нитрида алюминия (рис. 1 и 2).

Таким образом, разработана технология нанесения на графит покрытий из нитрида алюминия плазменным напылением алюминия с последующим азотированием металлического слоя в среде азота в засышке из алюминиевой пудры.

Авторы выражают глубокую благодарность члену-корреспонденту АН УССР Г. В. Самсонову за ценные указания при проведении настоящей работы.

Институт проблем материаловедения  
Академии наук УССР

Поступило в редакцию  
15 I 1965

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Немецкий патент 1057005, 1959.
2. K. Faulor, C. Lenie. J. Electrochem. Soc., 107, 303, 1960.
3. G. Lond, L. Foster. J. Amer. Cer. Soc., 42, 2, 1, 1959.
4. Ю. А. Клячко. Ж. прикл. химии, 14, 84, 1941.
5. Сб. Исследования при высоких температурах под ред. В. А. Кириллина и А. Е. Шейндлина, ИЛ, М., 1962.
6. Г. В. Самсонов, Т. В. Дубовик. Цветные металлы, № 3, 56, 1962.