

# РАСЧЕТ НАПЫЛЕНИЯ ТИТАНОМ НА КЕРАМИЧЕСКУЮ ПОДЛОЖКУ ИЗ ОКСИДА БЕРИЛЛИЯ

Курманказы А.К.<sup>1</sup>, Баегизова А.С.<sup>2</sup> Email: Kurmankazy6110@scientifictext.ru

<sup>1</sup>Курманказы Азиза Курманказықызы – магистрант;

<sup>2</sup>Баегизова Айгулим Сейсенбековна - кандидат физико-математических наук, доцент,  
кафедра радиотехники, электроники и телекоммуникаций, физико-технический факультет,  
Евразийский национальный университет им Л.М. Гумилева,  
г. Нур-Султан, Республика Казахстан

**Аннотация:** в данной статье представлен расчет по напылению титаном на керамическую подложку из оксида бериллия. Анализ процесса напыления является сложной теоретической задачей, так как факторов, влияющих на него, множество. Экспериментальные исследования были сделаны по определению величины прочности напыляемого материала в зависимости от температуры подложки, толщины пленки, шероховатости исходной поверхности и температуры отжига полученного материала. По полученным данным при эксперименте для выявления прочности сцепления напыления титаном на подложку из оксида бериллия был предложен ряд эмпирических соотношений для ее зависимостей, соответственно, от температуры подложки, толщины покрытия, шероховатости и температуры отжига. Зависимости рассматривались от прочности сцепления на температуру подложки в диапазоне 1000K-1300K, на толщину покрытия титаном 0.16 мкм – 20 мкм, на шероховатость рабочей поверхности 0.25 мкм – 5 мкм и на температуру отжига керамики 1700K – 1800K.

**Ключевые слова:** напыление, титан, адгезия, оксид бериллия.

## CALCULATION OF TITANIUM DEPOSITION ON BERILLIUM OXIDE CERAMIC SUBSTRATE

Kurmankazy A.K.<sup>1</sup>, Baegizova A.S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kurmankazy Aziza Kurmankazykyzy – Masters Student;

<sup>2</sup>Baegizova Aigulim Seysenbekovna – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,  
DEPARTMENT OF RADIO ENGINEERING, ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS, FACULTY OF PHYSICS  
AND TECHNOLOGY,  
EURASIAN NATIONAL UNIVERSITY NAMED AFTER GUMILEV L.M.,  
NUR-SULTAN, REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**Abstract:** this article presents a calculation for the deposition of titanium on a beryllium oxide ceramic substrate. The analysis of the spraying process is a complex theoretical task since the number of factors influencing it is many. Experimental studies were carried out to determine the strength of the sprayed material on the substrate temperature, film thickness, roughness of the initial surface, and the annealing temperature of the resulting material. According to the data obtained during the experiment to reveal the adhesion strength of titanium deposition on a beryllium oxide substrate, a number of empirical relationships were proposed for its dependences, respectively, on the substrate temperature, coating thickness, roughness and annealing temperature. The dependences were considered on the adhesion strength for the substrate temperature in the range 1000K - 1300K, for the titanium coating thickness of 0.16  $\mu\text{m}$  - 20  $\mu\text{m}$ , for the working surface roughness of 0.25  $\mu\text{m}$  - 5  $\mu\text{m}$ , and for the ceramic annealing temperature of 1700K - 1800K.

**Keywords:** deposition, titanium, adhesion, beryllium oxide.

Получение качественных тонких пленок — сложная многопараметрическая задача. В качестве основных управляющих параметров процесса следует указать на кристаллографическую ориентацию подложки и качество ее поверхности, температуру подложки, скорость нанесения пленки, которая зависит как от величины пресыщения пара, так и от газодинамических особенностей реактора [3]. Получить аналитические зависимости для анализа процесса напыления конкретных материалов достаточно сложная теоретическая задача. Как уже отмечено выше, существенные затруднения возникают также из-за множества факторов, влияющих на процессы образования структур на границе между напыленным материалом и подложкой. С другой стороны, в определенных интервалах параметров проведены экспериментальные исследования по определению величины прочности напыляемого материала от температуры подложки, толщины пленки, шероховатости исходной поверхности и температуры отжига полученного материала.

Проанализировав конкретные экспериментальные результаты по исследованию прочности сцепления титана, наносимого на поверхность оксида бериллия, можно предложить ряд эмпирических соотношений

для ее зависимостей, соответственно, от температуры подложки, толщины покрытия, шероховатости и температуры отжига [1, 2]. Следует иметь в виду, что каждая зависимость имеет определенные области применимости, в соответствии с условиями проведения экспериментов, в этой связи, экстраполяция полученных эмпирических соотношений на не исследованные в эксперименте данные не всегда продуктивна. Зависимости рассматривались от прочности сцепления на температуру подложки в диапазоне 1000К-1300К, на толщину покрытия титаном 0.16 мкм – 20 мкм, на шероховатость рабочей поверхности 0.25 мкм – 5 мкм и на температуру отжига керамики 1700К – 1800К. Эти зависимости в безразмерном виде представлены ниже в виде формул (1)-(4). Соответственно, они обезразмеривались на максимальное значение в своей рассматриваемой области. Следует отметить, что в приведенных соотношениях, в отличие от оценок раздела 3 учитывалось также изменение энергии активации от температуры подложки (Таблица 1).

Зависимость прочности сцепления от безразмерного значения температуры подложки ( $\bar{T}$ ) определена по формуле (1)

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{\max}} = \frac{1.000556077}{1 + (1.1451832492 \cdot \bar{T})^{-36.349769}}, \quad (1)$$

Таблица 1. Энергия активации в зависимости от температуры подложки

| Температура, К | Энергия активации, ккал/моль |
|----------------|------------------------------|
| 1000           | 77.81                        |
| 1050           | 77.82                        |
| 1100           | 77.83                        |
| 1150           | 78.80                        |
| 1173           | 79.80                        |
| 1200           | 81.40                        |
| 1250           | 84.63                        |
| 1300           | 87.90                        |
| 1350           | 91.22                        |
| 1373           | 92.77                        |
| 1400           | 94.58                        |

Зависимость прочности сцепления от безразмерного значения толщины покрытия ( $\bar{h}$ ) определена по формуле (2)

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_{\max}} = 6.81822 - 2.28265\bar{h} + 0.08565\bar{h}^2 + 1.18238(\ln \bar{h})^2 - \frac{3.81292}{\bar{h}^{0.5}}, \quad (2)$$

Зависимость прочности сцепления от безразмерного значения шероховатости подложки ( $\bar{R}_z$ ) определена по формуле (3)

$$\frac{\sigma_3}{\sigma_{\max}} = 12.72086 + \frac{43.27511}{1 + \exp(-(5\bar{R}_z - 1.6464)/-0.34227)}, \quad (3)$$

Зависимость прочности сцепления от безразмерного значения температуры отжига подложки ( $\bar{T}_o$ ) определена по формуле (4)

$$\frac{\sigma_4}{\sigma_{\max}} = \frac{4000000 \cdot \bar{T}_o^2}{396911.884 \cdot \bar{T}_o^2 - 320559.169 - 527927.36 \cdot \ln \bar{T}_o}, \quad (4)$$

Имея в виду, что зависимость, описываемая формулой (4) от температуры отжига достаточно слабая, используя формулы (1)-(3), определяем усредненную прочность сцепления  $\sigma$  в зависимости от температуры подложки, толщины покрытия и шероховатости подложки

$$\sigma \cong \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}, \quad (5)$$

где  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  - соответственно, безразмерные прочности сцепления в зависимости от температуры подложки, толщины покрытия и шероховатости подложки.

Толщина пленки на подложке в заданной точке равна [4]

$$h = M \frac{\cos \varphi \cdot \cos \psi}{r^2} t, \quad (6)$$

где  $M$  - постоянный параметр, пропорциональный скорости распыления,

$t$  - время нанесения пленки,

$\varphi$  - угол распыления,

$\psi$  - угол конденсации,

$r$  - расстояния между точками распыления и конденсации.

Учитывая геометрию установки, свойства керамической подложки, свойства распыляемого металла и вышеуказанные формулы (1) – (6) была составлена программа для расчета серий режимных параметров.

Было определено влияние температуры керамической подложки, толщины покрытия титана на прочность сцепления. Шероховатость рабочей поверхности подложки полагалась равной 0.16 мкм. Температура отжига подложки выбиралась постоянной - 1800К. Температура керамической подложки изменялась: 1000К, 1100К, 1200К, 1300К (рис. 1). С ростом температуры подложки прочность сцепления увеличивается, особенно в области температур от 1100К до 1200К от 41 МПа до 54 МПа, что соответствует экспериментальным данным. Также заметно, что при толщинах покрытия от 0.5 до 2.5 мкм прочность сцепления для всех температур подложки резко возрастает. Во второй серии расчетов определялись влияния толщины покрытия и шероховатости подложки на прочность сцепления (рис. 2).

В данном расчетном режиме температура керамической подложки составляла 1300К, температура отжига подложки – 1800К, а шероховатость рабочей поверхности подложки равнялась 0.281 мкм и 2.875 мкм. Результаты расчетных данных подтверждают, что с увеличением шероховатости поверхности подложки прочность сцепления снижается (рис. 2). В приложении приведен расчетный код, написанный на языке C++.

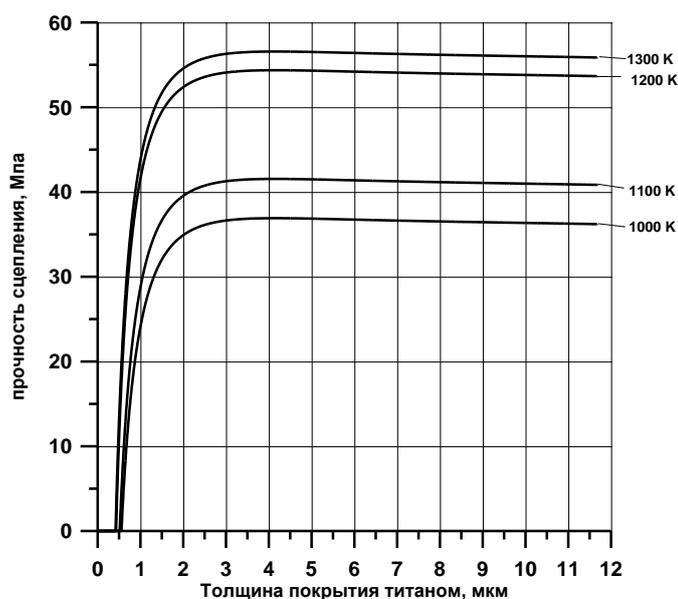


Рис. 1. Влияние изменения температуры подложки 1000К, 1100К, 1200К, 1300К

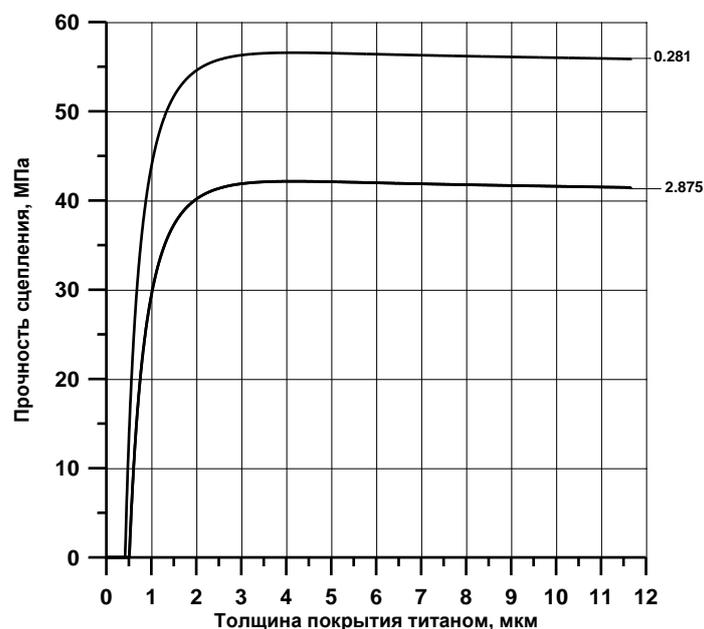


Рис. 2. Влияние изменения шероховатости подложки при 0.281 мкм, 2.875 мкм

#### Список литературы / References

1. Акишин Г.П., Турнаев С.К. Технология металлизации керамических изделий из оксида бериллия. 1 Международная Казахстанско-Российско-Японская НТ конференция. «Перспективные технологии, оборудование и аналитические системы для материаловедения и наноматериалов» ВКГТУ-МИСИС, 24-25 июня 2008. Усть-Каменогорск. Стр. 322-325.
2. Демонстрация и реклама изделий и технологий производства тонкой технической керамики на основе оксидов редких цветных металлов. Выставка ново – высокой технологии и продукции КНР, МОН РК, г. Астана, сентябрь 2007.
3. Карташкин Б.А., Чадов А.Н., Шоршоров М.Х. О механике и кинетике образования соединения при нанесении покрытий испарением и конденсацией металлов в вакууме. Физом, 1970. № 3. С. 45-53.
4. Кример Б.И., Панченко Е. Б., Шишко Л.А., Николаева Б.К., Авраамов Ю.С. Лабораторный практикум по металлографии и физическим свойствам металлов и сплавов. Металлургия, 1966.