

**ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ
УЛЬТРОДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА В СИСТЕМЕ Ti-Si-N**

А.И. Усиков, Д.Ю. Герасимов, А.А. Евдокимов

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.А. Сивков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: trius.strannik@gmail.com

**INFLUENCE ENERGY PARAMETERS ON THE CHARACTERISTICS OF THE
ULTRADISPERSED MATERIAL IN THE SYSTEM Ti-Si-N**

A.I. Usikov, D.Yu. Gerasimov, A.A. Evdokimov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.A. Sivkov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: trius.strannik@gmail.com

Changes in the phase composition of the material achieve regulatory properties in a wide range. The ultradisperse material in this research was obtained by a direct synthesis in the hypersonic high-current electrical discharge plasma arc obtained using a coaxial magneto-plasma accelerator (CMPA). Regulation of the phase composition of the ultradisperse particles in the system Ti-Si-N (was) have been done by measuring the energy released in the CMPA, ceteris paribus. The influence of the CMPA supplied energy on the ultradisperse material phase composition was investigated.

X-ray diffraction patterns of the synthesized powders were obtained. The result of research of the phase composition has been identified having three groups of compounds: initial reactants (Si, Ti); transitional phase (TiSi₂, Ti₂N, etc.) and final product (TiN and Ti₅Si₃).

Therefore, with increasing supplied energy transitional phase disappears, and the amount of unreacted materials is reduced. Increase in the content titanium nitride caused by increase of titanium surface electrical erosion of the accelerating channel. Availability of the transitional phases is due to lack of supplied energy.

Материалы, полученные в системе Ti-Si-N, обладают рядом уникальных свойств: высокая твёрдость (до 50-60 ГПа [1, 2]), износостойкость, высокая температура плавления, коррозионная стойкость [3]. Изменением фазового состава материала добиваются регулирования свойств в широком диапазоне.

Ультрадисперсный материал, в рамках данного исследования, был получен методом прямого плазмодинамического синтеза в гиперскоростной импульсной струе электроразрядной плазмы сильноточного дугового разряда в азотной атмосфере, полученного с помощью коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ), рис. 1, [4]. Предполагалось получить материал, состоящий из смеси ультрадисперсных фаз кубического нитрида титана (TiN) и силицида кремния (Ti₅Si₃).

Одним из способов изменения состава является изменение выделившейся в КМПУ энергии, при прочих равных условиях. Изменение энергии производится изменением ёмкости, С, мФ, и напряжения заряда, U_с, кВ, накопителя энергии. Количество засыпанного в КФПС кремния m_{кр}=1 г, давление азотной атмосферы в камере-реакторе P=3 атм. Геометрические размеры ускорительного канала, выполненного из титановой трубы сплава марки ВТ-1-0, неизменны: длина 254 мм, диаметр 21 мм.

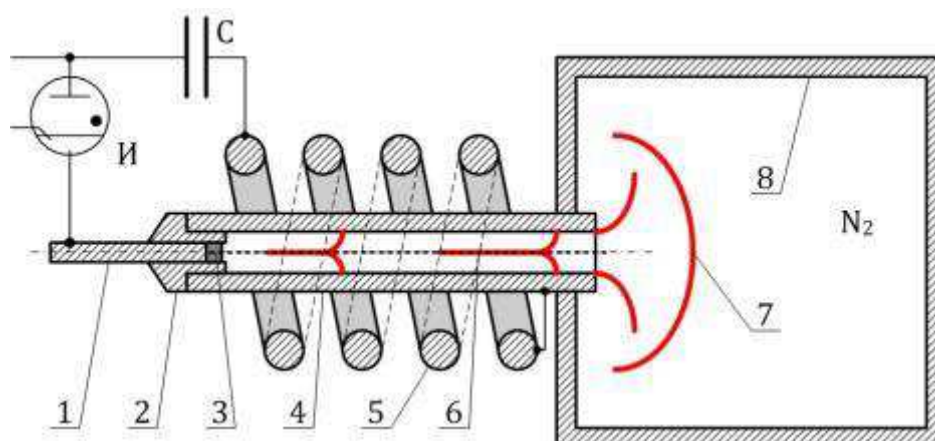


Рис. 1. Лабораторная установка. Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель: 1) центральный электрод (ЦЭ); 2) изолятор ЦЭ; 3) канал формирования плазменной структуры (КФПС); 4) электрод-ускорительный канал; 5) соленоид; 6) плазменная структура; 7) гиперскоростная плазменная струя; 8) камера-реактор

Для исследования влияния подведённой к КМПУ энергии на фазовый состав получаемого ультрадисперсного порошка было проведено три эксперимента. Энергия, W , кДж, выделившаяся в КМПУ, а так же некоторые другие энергетические характеристики, приведена в табл. 1. Максимальный ток i_m в экспериментах составил 225 кА, максимальное напряжение на дуге u_m – 2 кВ, максимальная мощность P_m – 450 МВт.

Таблица 1. Условия эксперимента: энергетические характеристики

№ эксперимента	1	2	3
C , мФ	4,8	14,4	19,2
U_c , кВ	3,7	3,0	3,4
i_m , кА	105	189	225
u_m , кВ	1,2	1,6	2,0
P_m , МВт	126	219	450
W , кДж	16,6	42,0	80,6

Для синтезированных порошков были получены картины рентгеновской дифракции, с использованием рентгеновского дифрактометра Simadzu XRD 7000 (Cu-K α), представленные на рис. 2. Содержание каждой фазы в массовых процентах, получено с помощью ПО PowderCell 2.4 и базы структурных данных PDF4+, представлено в табл. 2. В результате исследования фазового состава было выделено наличие трёх групп соединений: исходные реагенты (Si, Ti); переходные фазы (TiSi $_2$, Ti $_2$ N и др.) и конечный продукт (TiN и Ti $_5$ Si $_3$).

Из приведённых данных видно, что с увеличением подведённой энергии переходные фазы исчезают, а количество непрореагировавших (исходных) материалов уменьшается, вплоть до уровня погрешности. Увеличение содержания нитрида титана вызвано увеличением электрической эрозии титана с поверхности ускорительного канала. Наличие переходных фаз вызвано неполнотой протекания процессов при недостатке подведённой энергии.

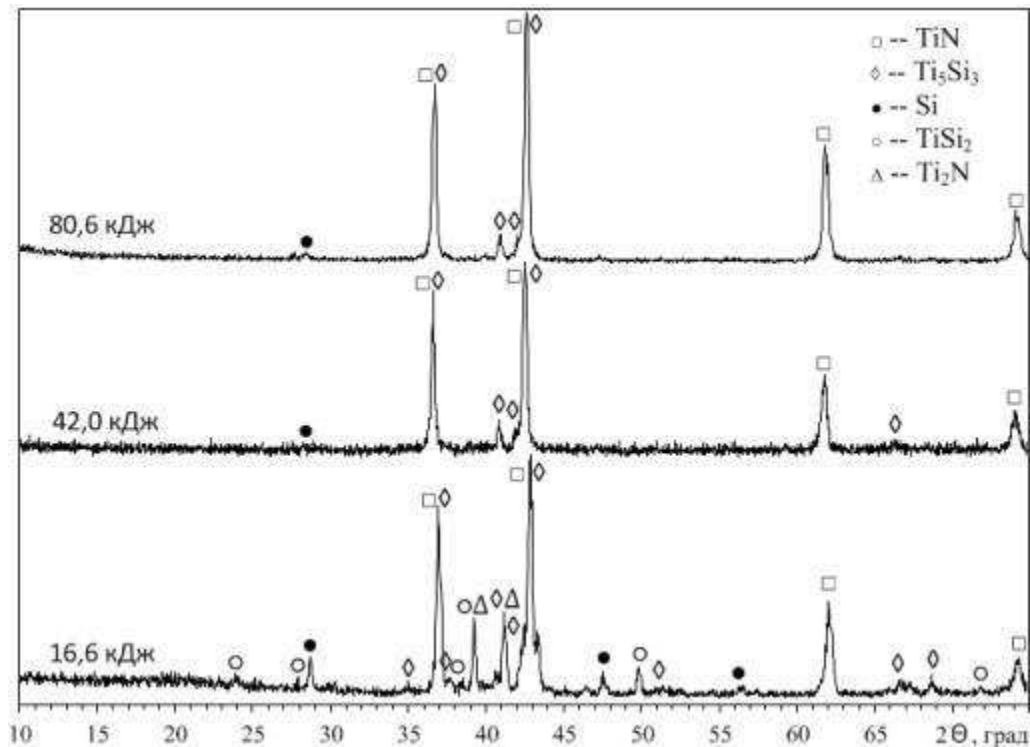


Рис. 2. Рентгенограммы порошков из экспериментов с разной подведённой энергией

Таблица 2. Данные фазового анализа порошкообразного материала

Опыт		1	2	3
Фаза				
cTiN	Содержание, мас.%	57,2	82,3	89,8
Ti ₅ Si ₃		28,4	16,0	10,2
Si		4,3	1,7	--
TiSi ₂		2,4	--	--
Ti ₂ N		7,0	--	--

Из приведённых данных очевидна зависимость фазового состава ультрадисперсного порошки полученного методом прямого плазмодинамического синтеза в гиперскоростной импульсной струе электроразрядной плазмы сильноточного дугового разряда в азотной атмосфере, полученного с помощью КМПУ, от выделившейся на дуге энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Verpek Stan. The Search for novel, superhard materials // Journal Vacuum Science Technology A. – 1999. – V.17. – № 5. – P. 2401–2420.
2. Кунченко В.В., Кунченко Ю.В., Картмазов Г.Н., Неклюдов И.М., Мигаль А.А., Романов А.А., Гладких Н.Т., Крышталь А.П., Казаринов Ю.Г. Наноструктурные сверхтвердые nc-TiN/a-Si₃N₄ покрытия, полученные методом вакуумно-дугового осаждения // Вопросы атомной науки и техники. – 2006 г. – № 4. – С. 185–190.
3. Самсонов Г.В., Дворина Л.А., Рудь М.М.. Силициды. – М.: Металлургия, 1979. – 272 с.
4. Пат. № 2459394 РФ. Н05Н 5/03. Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель / Сивков А.А., Герасимов Д.Ю., Евдокимов А.А. Заявлено: 06.12.2010, Оpubл. 20.08.2012, Бюл.: № 23.