

каждого рассчитывается интегральный показатель затрат. Исходными данными является информация, полученная в сеансах экспертизы, варианты решений и условно-постоянная информация, описывающая производственные условия, тарифы и стоимость требуемых ресурсов, и другие параметры, используемые в расчетах.

Модель экономических расчетов обеспечивает учет эффекта, вызванного интеграцией технологий, что проявляется в виде компенсации или сокращения ряда затрат. С этой целью модель содержит настроечные элементы, позволяющие задавать требуемые схемы расчета.

Реализация технико-экономической модели выполнена в виде электронной таблицы.

При помощи разработанной модели была проанализирована возможность модернизации установок ННВ-6,6-И1 для проведения на ней интегрированной ионно-имплантационной технологии. Расчеты эффективности обработки лопаток компрессора интегрированной технологией на модернизированной установке ННВ-6,6-И1 выполненной на основании предлагаемой модели показали, что при обработке лопаток компрессора (ионная имплантация, термообработка, ионно-плазменное напыление) снижается технологическая себестоимость обработки на 25–38 % и время обработки на 35–45 % по сравнению с типовым ТП.

#### Список литературы

1. Попов В.Ф. Ионно-лучевые установки./Лен.энергоиздат,1981-С136.
2. Згуровский М.З. Интегрированные системы оптимального управления и проектирования./Киев Высш.Ш.,1990 –С350.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИНТЕЗА НИТРИДА ТИТАНА ИЗ ОКСИДА ТИТАНА В РЕЖИМЕ ГОРЕНИЯ

Трусов Д.В., Бичуров Г.В., Трусов В.Н.

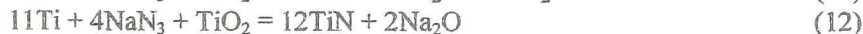
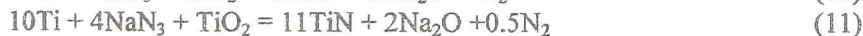
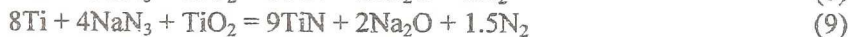
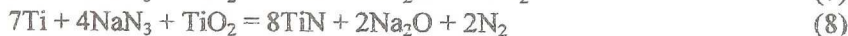
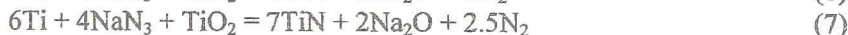
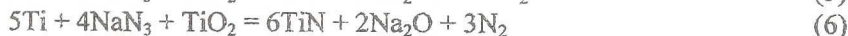
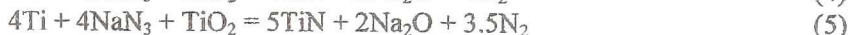
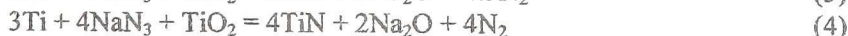
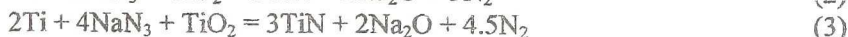
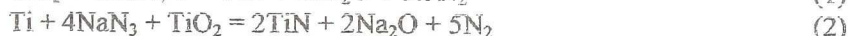
Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

В данной работе исследовалось влияние количества соотношения компонентов в системе, давления внешнего азота, относительной плотности загрузки реактора, плотности исходной шихты на максимальной температуры и линейной скорости горения при синтезе нитрида титана из оксида титана в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза с применением азидов (СВС-Аз).

*Исследование влияния соотношения компонентов в системе на выходные параметры горения и синтеза нитрида титана*

Исследования зависимости максимальной температуры горения ( $T_r$ ) и линейной скорости горения ( $U_r$ ) от количества горючего ( $x$ ) проводились на образцах системы "титан - азид натрия - оксид титана" при относительной плотности загрузки реактора  $2,56 \text{ кг/м}^3$  (диаметр образца  $D_0 = 20 \text{ мм}$ ), насыпной плотности исходной шихты и при давлении азота  $P = 5 \text{ МПа}$  (приведенное давление является оптимальным для СВС-Аз систем, содержащих переходные металлы). " $x$ " - коэффициент перед титаном в исследуемом уравнении химической реакции.

Стехиометрические уравнения химических реакций исследуемых систем имеют следующий вид:



Результаты исследований представлены на рис.1. Полнота превращения конечного продукта стоят в прямой зависимости от температуры и скорости реакции при получении целевого продукта (нитрид титана) СВС-Аз способом. Чем больше температура и скорость горения, тем, как правило, выше полнота химического превращения в азидных СВС-системах и, как следствие, выше степень чистоты целевых продуктов синтеза.

Видно, что с увеличением содержания титана в исходной смеси скорость и температура горения растут, а также возрастает чистота конечного продукта. Это объясняется тем, что образование нитрида титана происходит с выделением большого количества тепла и, очевидно, что увеличение содержания титана в исходной шихте приводит к большему образованию нитрида и, как следствие, увеличению температуры горения в общей массе исходной шихты. Стабильное горение смеси компонентов системы и отсутствие побочного продукта синтеза ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) в получаемом порошке наблюдается при содержании титана больше 7.

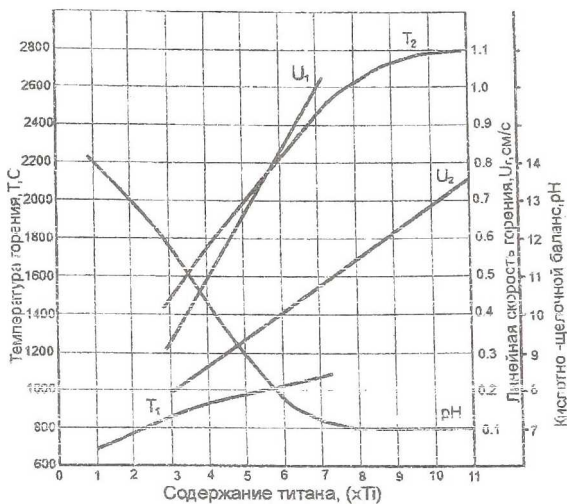


Рис.1. Зависимость Температуры, линейной скорости горения и среды промывной воды конечного продукта от количества горючего

- $U_1$  - линейная скорость восстановления;
- $U_2$  - линейная скорость горения;
- $T_1$  - температура восстановления;
- $T_2$  - температура горения.

### *Исследование влияния давления газовой среды на температуру и скорость горения при синтезе нитрида титана*

Чем больше создаётся внешнее давление, тем меньше фильтруется активный азот азиды натрия из образца. Можно предположить, что с повышением давления внешнего азота будет возрастать степень азотирования титана.

Данная работа сводилась к изучению влияния низких давлений ( $P = 1-7$  МПа), так как они являются наиболее приемлемыми для создания промышленной технологии получения порошка нитрида титана в режиме СВС-Аз. При этом относительная плотность загрузки реактора в дальнейших исследованиях составляла  $2,56 \text{ кг/м}^3$ , плотность шихты - насыпная, исследуемые системы: (8), (12).

Результаты исследований представлены на рис.2, 3. Как видно из полученных результатов, с увеличением давления внешнего азота увеличиваются температура и скорость реакции, причем, соответствующие зависимости для исследуемых систем имеют схожий характер. На основании этого можно, исследуя какую-то одну систему предположить, что близкие к ней системы будут иметь схожий с ней характер зависимостей.

Поэтому на основании представленных результатов для дальнейших исследований выбираем системы " $8 \text{ Ti} + 4 \text{ NaN}_3 + \text{TiO}_2$ " и " $11 \text{ Ti} + 4 \text{ NaN}_3 + \text{TiO}_2$ ", так как смесь компонентов системы (12) является "стехиометрической", т.е. согласно химическому уравнению реакции, весь азот азиды увязывается в нитрид.



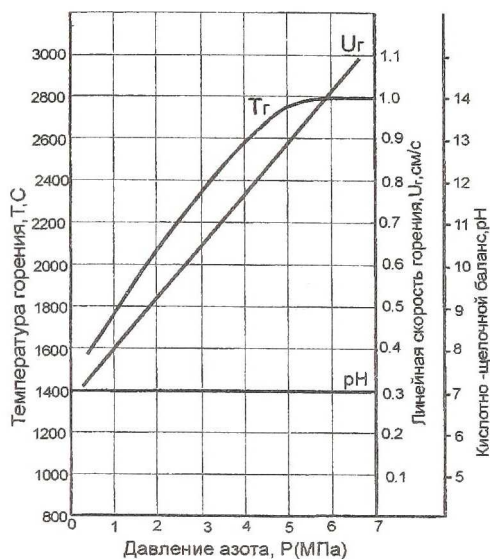


Рис.2. Зависимость Температуры, линейной скорости горения и среды промывной воды конечного продукта от давления азота система:  $11\text{Ti} + \text{Na}_2\text{O} + \text{TiO}_2$

При давлении внешнего азота  $P=3$  МПа зависимость  $T_g$ ,  $U_g = f(P)$  выходит на "прямую", температуры горения здесь достаточно высоки для получения качественного продукта. Так как синтез при более высоких давлениях синтез экономически не выгоден и небезопасен, в качестве оптимального принимается  $P=3$  МПа.

*Исследование влияния относительной плотности загрузки реактора (диаметра образца)*

*на температуру и скорость горения при синтезе нитрида титана*

Изучение влияния диаметра образца на температуру, скорость горения и глубину превращения из-за сложностей технологического характера, проводилось в интервале образцов 10-60 мм. При использовании образцов менее 10 мм, насыпной плотности шихты и применении калькового стаканчика для смеси, как воспламенение исходного состава вольфрамовой спиралью, так и измерение выходных параметров горения затруднительно.

Использование диаметров образцов более 60 мм ограничиваются возможностями лабораторного реактора. Исследование процессов горения и синтеза нитрида титана при различном диаметре образцов проводилось при давлении азота 3 МПа, насыпной плотности шихты, стехиометрическом соотношении компонентов. Результаты исследований представлены на рис.4. Как видно из приведенной зависимости, температура и скорость горения системы (8) с увеличением диаметра возрастает, приобретая максимальные значения при диаметре образца 20-30 мм. Дальнейшее увеличение диаметра образца при использовании лабораторного реактора СВС с диаметром внутреннего рабочего пространства 147

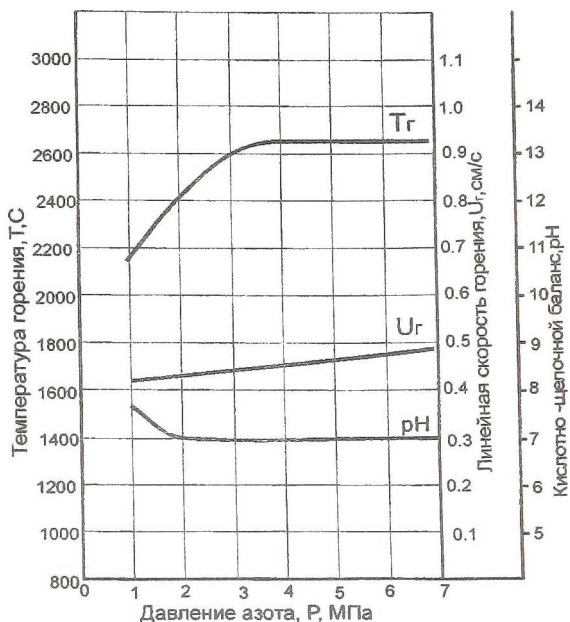


Рис.3. Зависимость Температуры, линейной скорости горения и среды промывной воды конечного продукта от давления азота система:  $8\text{Ti} + \text{Na}_2\text{O} + \text{TiO}_2$

*Исследование влияния относительной плотности исходной шихты на температуру и скорость горения при синтезе нитрида титана*

В таблице 1 представлена зависимость влияния относительной плотности исходной шихты ( $\delta$ ) на выходные параметры горения и синтеза.

Таблица 1- Результаты исследования влияния относительной плотности исходной шихты на ( $T_g$  при синтезе нитрида титана

Относительная плотность исходной шихты	Температура горения, T <sub>г</sub> , °C	
	Система: 8Ti - 4NaN <sub>3</sub> - TiO <sub>2</sub>	Система: 11Ti - 4NaN <sub>3</sub> - TiO <sub>2</sub>
0,41	2420	2300
	2740	2350
	2185	
	2630	
0,60	850	не горит

мм приводит к незначительному снижению исследуемых характеристик за счет увеличивающегося тепловода от образца к стенкам реактора. Поэтому, уже при диаметре образца 20 мм, горение исследуемой системы выходит на стационарный режим и именно этот диаметр является оптимальным.

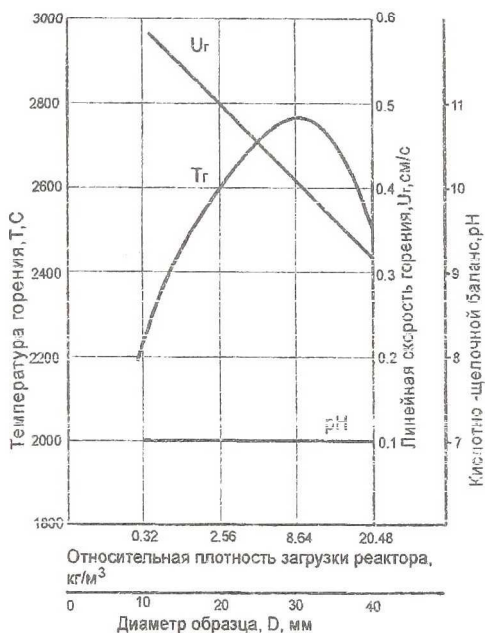


Рис.4. Зависимость температуры, линейной скорости горения и среды промывной воды конечного продукта от относительной плотности загрузки реактора (диаметра образца)

мы перестают гореть или горение носит неустойчивый характер.

С увеличением относительной плотности шихты от  $\delta = 0,41$  (насыпная) до  $\delta = 0,6$  (прессованные образцы) максимальная температура и скорость резко снижаются, что очевидно связано с фильтрационными затруднениями при выходе побочного продукта ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) из еще не прореагировавшей смеси, где  $\text{Na}_2\text{O}$  образуется в зоне прогрева. Исходя из вышесказанного, оптимальной насыпной плотностью является  $\delta = 0,41$ .

В заключении можно сказать, что при использовании систем, начиная с (8), при насыпной плотности исходной шихты, при расшифровке рентгенограмм обнаружено единственная фаза, рефлексy которой соответствуют нитриду титана  $\text{TiN}$ . Это свидетельствует об однофазности нитрида титана и степени его чистоты порядка 96-98 %, так как свободный титан, был бы обнаружен в целевом продукте уже при его содержании 2,5 - 3,0 %.

Зависимость  $T_g = f(\delta)$  исследовалась на образцах систем (8) и (12) при следующих условиях синтеза: относительная плотность загрузки реактора 2.56 кг/м<sup>3</sup> (диаметр образца  $D_0 = 20$  мм), давление азота  $P = 3$  МПа и  $P = 5$  МПа. Из таблицы 1 видно, что зависимость параметров горения от относительной плотности исходной шихты является, пожалуй, самой сильной из всех приведённых. Уже при очередном шаге варьирования исследуемые системы