

УДК 621.453

Расчет рабочих параметров установок получения ультра- и нанодисперсных оксидов и нитридов методом сжигания аэрозвесей металлов*

А.Ю. КРЮКОВ, В.И. МАЛИНИН, С.Г. ЯРУШИН

Пермь, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Приведены методы и результаты решения задач по разработке принципиальных схем и определению конструктивных параметров системы подачи и камеры воспламенения установок получения ультрадисперсного оксида алюминия методом сжигания порошка металла в прямоточных камерах сгорания. Исследовались процессы пневмотранспорта порошка металла в зону реакции и воспламенения алюминия в камере. Получены зависимости между параметрами рабочих процессов и геометрическими размерами элементов конструкции, важные для разработки узлов с точки зрения обеспечения необходимого расхода металла и воздуха, полноты сгорания исходного порошка и требуемых тепловых режимов работы камеры воспламенения. Обоснованы параметры подачи воды (в зависимости от расхода воздуха) в устройство обора целевого продукта, обеспечивающие экологическую безопасность технологии и требуемый тепловой режим работы узла. Также предложены способы регулирования дисперсности целевого продукта, выявленные при анализе публикаций по горению металлических порошков. Представленные результаты исследований позволяют выполнять оценку совершенства разрабатываемых технических решений по промышленным установкам получения нанодисперсных материалов с точки зрения технической возможности их реализации в заданных пределах изменения величины параметров рабочих процессов и габаритов элементов конструкции узлов.

Ключевые слова: сжигание металлов, оксид, нитрид, порошок металла, воздух, смесь, параметры внутрикамерных процессов, система подачи, камера воспламенения, параметры конструкции, параметры функционирования.

ВВЕДЕНИЕ

В современном материаловедении и нанотехнологиях одно из самых перспективных направлений исследований – получение ультра- и нанодисперсных порошков соединений AlN , Al_2O_3 , MgO , Si_3N_4 , BN и других оксидов и нитридов металлов с размером частиц ~ 100 нм. Актуальность и коммерческая ценность его развития определяются высокой потребностью использования ультрадисперсных материалов в современной технике, атомной энергетике, медицине и других областях [1].

Среди производительных и универсальных технологий получения ультрадисперсных порошков (УДП) ведущее место занимают методы, основанные на испарении твердого или жидкого сырья и последующих сильно неравновесных физико-химических процессах конденсации паров [1]. К этой группе следует отнести и методы, основанные на процессах горения металлических порошков с образованием оксидов и нитридов, которые представляют новый – «технологический» – аспект сжигания порошковых металлических горючих, теоретически и экспериментально обоснованный учеными Пермского государственного технического университета [2] и Одесского государственного университета [3].

Данная статья непосредственно касается технологии получения УДП методом сжигания порошков металлов в прямоточных камерах сгорания [2, 4]. Рассматриваемый метод в наибольшей степени отражает адаптацию принципиальных преимуществ организации рабочих операций в камерах сгорания энергоустановок – высокую интенсивность физико-химических процессов, возможность управления параметрами и режимами горения (а следовательно, и

* Статья получена 13 ноября 2013 г.

свойствами целевого продукта), использования опыта отечественных и зарубежных создателей аэрокосмической техники – к производству новых ценных материалов.

В статье по результатам исследований рабочих процессов получения ультрадисперсного оксида алюминия установлены физические и размерные связи между параметрами функционирования и конструктивными размерами соответствующих узлов опытно-промышленной установки.

1. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА УСТАНОВКИ

Общая принципиальная схема опытно-промышленной установки получения ультра- и нанодисперсных оксидов и нитридов представлена на рис. 1.

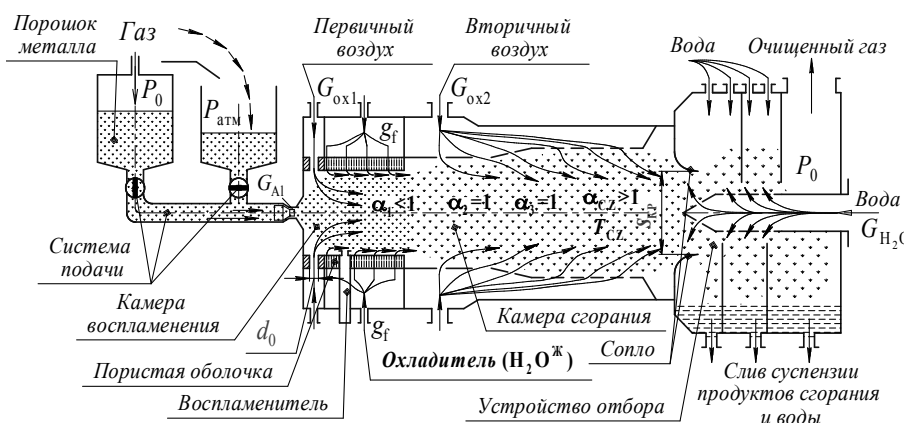


Рис. 1. Схема опытно-промышленной установки для получения ультра- и нанодисперсных оксидов и нитридов

Функционирование установки происходит по следующей схеме. При помощи системы подачи исходный порошок алюминия под действием объемных сил сжатого газа транспортируется в камеру воспламенения (КВ), где смешивается с первичным потоком воздуха, воспламеняется и поступает в камеру сгорания (КС). В камере сгорания воспламенившаяся смесь смешивается с вторичным потоком воздуха, и частицы металла догорают. Образовавшийся высокотемпературный поток продуктов сгорания через сопло истекает в устройство отбора целевого продукта, где образуется суспензия целевого продукта – ультрадисперсного оксида алюминия – и воды. Воспламенитель служит для инициирования химической реакции в начале технологического процесса. Через пористую оболочку осуществляется процесс транспирационного охлаждения КВ. Подвод первичного воздуха в КВ осуществляется в одном сечении через радиальные отверстия, подвод вторичного воздуха в КС – распределённый, осуществляется в нескольких сечениях через специальный распределитель и отверстия в графитовой оболочке, в виде сверхзвуковых струй, причём конструкция распределителя позволяет варьировать расход в каждом сечении и изменять таким образом коэффициент избытка воздуха α по длине камеры.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ ПОДАЧИ И КАМЕРЕ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ

Исследования рабочих процессов в системе подачи металла [2, 4] проводились на основе анализа процесса транспортирования порошка под действием объемных сил сжатого газа. Расчётная схема представлена на рис. 2. Газ, предварительно закаченный в поровый объем порошка, фильтруется через слой порошка и истекает из выпускного отверстия вместе с порошком в камеру воспламенения.

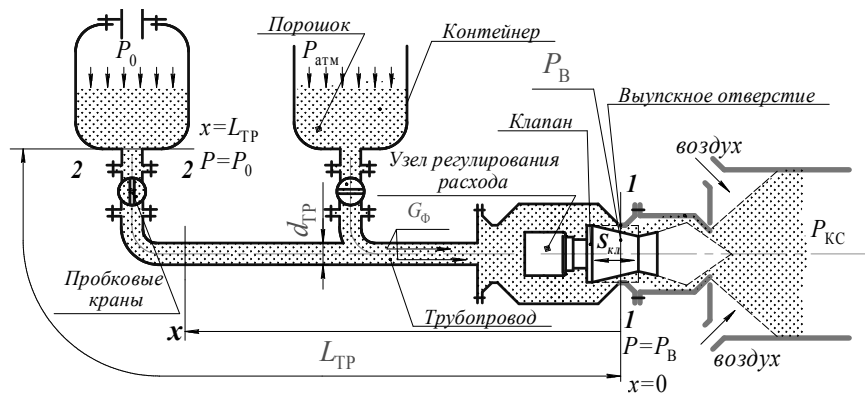


Рис. 2. Расчетная схема процесса подачи порошка

Рабочий процесс описывается с помощью математической модели, основанной на уравнении Дарси и учитывающей эмпирические зависимости, установленные в исследованиях системы подачи экспериментальной установки [2, 4]:

$$G_{\phi} = - \frac{kP(x)S_{\text{тр}}}{\mu RT} \cdot \frac{dP}{dx}, \quad (1)$$

где x – координата, отсчитываемая от выходного сечения трубопровода в направлении ёмкости с порошком, G_{ϕ} – расход фильтрующегося газа, кг/с; P – давление воздуха в трубопроводе с порошком; μ – динамическая вязкость воздуха; R – универсальная газовая постоянная воздуха; T – температура; $S_{\text{тр}}$ – площадь поперечного сечения трубопровода; k – газопроницаемость порошка алюминия.

Рассмотрены две составляющие движения воздуха в трубопроводах системы подачи 1) фильтрация через слой движущегося порошка; 2) перенос воздуха, запасенного в порах, вместе с транспортируемым порошком.

В результате интегрирования уравнения (1) получена обобщённая универсальная диаграмма (рис. 3) зависимости давления во входном сечении трубопровода P_0 и перепада давлений между крайними сечениями ΔP одновременно от q_p (удельного расхода порошка – расхода на единицу площади поперечного сечения трубопровода) и $L_{\text{тр}}$ (длины трубопровода) [4]. Использование диаграммы позволяет одновременно учитывать расход исходного материала и два геометрических параметра трубопровода (длину и диаметр) при заданном рабочем давлении воздуха.

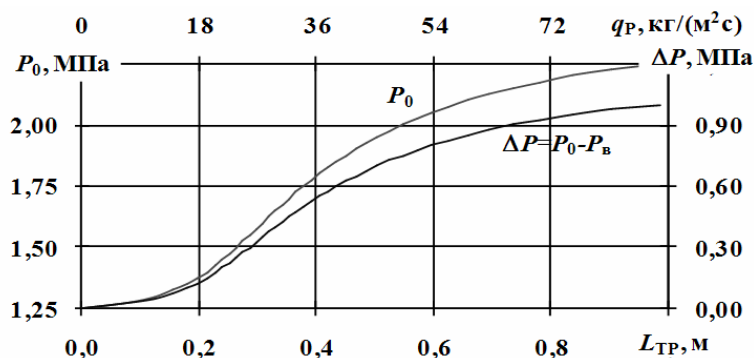


Рис. 3. Обобщенная диаграмма зависимостей между рабочими параметрами системы подачи и основными геометрическими размерами трубопроводов

Требуемый расход порошка металла и длину трубопроводов также можно определять на основании механических свойств материалов, из которого изготовлены элементы конструкции, из условий обеспечения их прочности.

Для расчетов процесса воспламенения порошка алюминия в камере используем математическую модель, представленную в работе [2]. Эта модель была разработана при теоретическом исследовании сжигания алюминиевых порошков в потоке воздуха, и в ней наиболее полно учтены особенности горения газовзвесей частиц алюминия: сильная скоростная, температурная и химическая неравновесность, накопление оксида и кинетические ограничения процессов на поверхности частиц и в объеме потока. В основании модели лежат законы сохранения массы, энергии и импульса, а также законы движения, записанные в форме системы нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка [2].

Рассматривается одномерный поток полифракционной аэровзвеси сферических частиц алюминия (рис. 4), характеризующийся переменной скоростью, температурой, плотностью частиц и газа, давлением, концентрацией кислорода и продуктов испарения частиц алюминия. Воздух подводится в камеру через несколько радиальных отверстий 4 и далее смешивается с потоком частиц металла. Образуется горизонтальный поток смеси порошкообразного алюминия и газа, который в начальный момент времени воспламеняется с помощью воспламенителя 5, а затем за счет тепла, выделяющегося в результате экзотермической химической реакции.

В результате математического моделирования процесса воспламенения получены зависимости между основными параметрами аэровзвеси порошка алюминия и геометрическими параметрами камеры воспламенения, позволяющие рационально выбирать размеры конструкции при заданном значении физических величин, определяющих состав смеси алюминия и воздуха в камере.

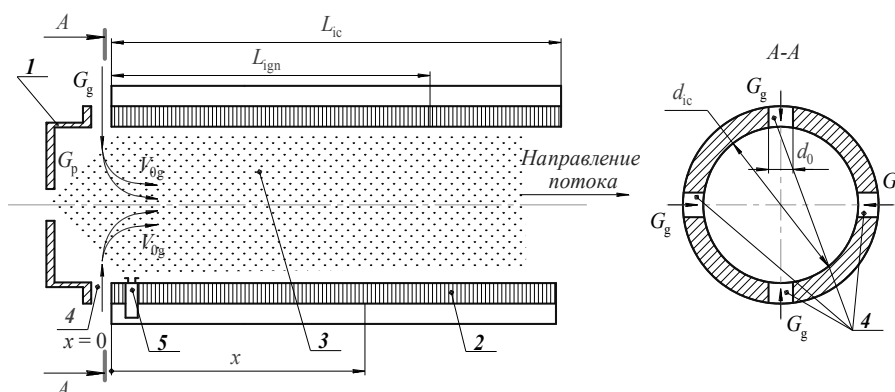


Рис. 4. Схема расчета параметров процесса воспламенения аэровзвеси исходного порошка алюминия:

1 – передний корпус камеры воспламенения; 2 – внутренняя оболочка камеры; 3 – поток частиц алюминия; 4 – отверстия для подвода воздуха; 5 – воспламенитель

Основными результатами расчетов являются зависимости: между удельным расходом газа (воздуха) G_{0g} (расходом на единицу площади подводящего отверстия) и расстоянием, на котором воспламеняются частицы всех фракций алюминиевого порошка L_{ign} , при различных коэффициентах избытка воздуха α . Эти зависимости представлены в виде графиков на рис. 5.

Для расчета транспирационного охлаждения использована модель [6], построенная на совместном анализе процессов теплообмена и фильтрации с описанием вязкого трения и инерционных эффектов при движении охладителя. Наибольший интерес представляют расчеты охлаждения с переходом охлаждающего вещества из жидкой фазы в газ для сочетания пористых проницаемых металлов, металлокерамики и охладителя-воды, обеспечивающего безопасность и низкую стоимость рабочего процесса.

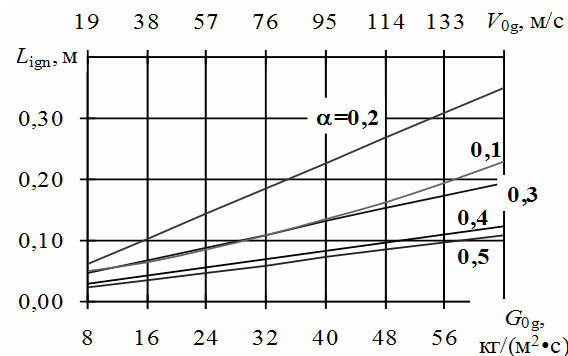


Рис. 5. Зависимость расстояния от входа в камеру, на котором воспламеняются частицы всех фракций исходного порошка («длины воспламенения») L_{ign} : от начального удельного расхода газа G_{0g} при различных α

Жидкостный охладитель с начальной температурой t_0 прокачивается с удельным массовым расходом g_f сквозь пористую стенку навстречу действующему на её внутреннюю поверхность тепловому потоку q (рис. 6, б). По мере движения давление жидкости понижается, а её температура возрастает. На некотором расстоянии L от входа охладитель достигает состояния насыщения, после чего происходит его постепенное испарение на участке LK с последующим перегревом пара на участке $K\delta$. Участок LK разделён на области I и II с разными режимами движения охладителя: в области I температура проникаемой матрицы быстро возрастает и достигает при координате Z^* величины T^* перегрева жидкости до завершения её полного испарения. После этого пористый материал перестаёт смачиваться, и образуется двухфазный дисперсный поток перегретого пара с микрокаплями жидкости (область II). При этом положение начала области испарения считается известным, и его координата L принимается в качестве независимого параметра.

В результате расчета получены зависимости безразмерной координаты $lk = LK/\delta$ от величины теплового потока q , соотношения $B = g\delta c'/\lambda$ между теплотой, поглощенной охладителем внутри стенки и передаваемой через нее теплопроводностью (c' – теплоемкость охладителя, λ – теплопроводность материала оболочки) и параметра $\gamma = \delta(h_{vl}/\lambda)^{1/2}$ (h_{vl} – интенсивность внутриворотового теплообмена), по которым определяются параметры процесса и размеры конструкции, при которых температура пористой стенки не превышает 350°C [6].

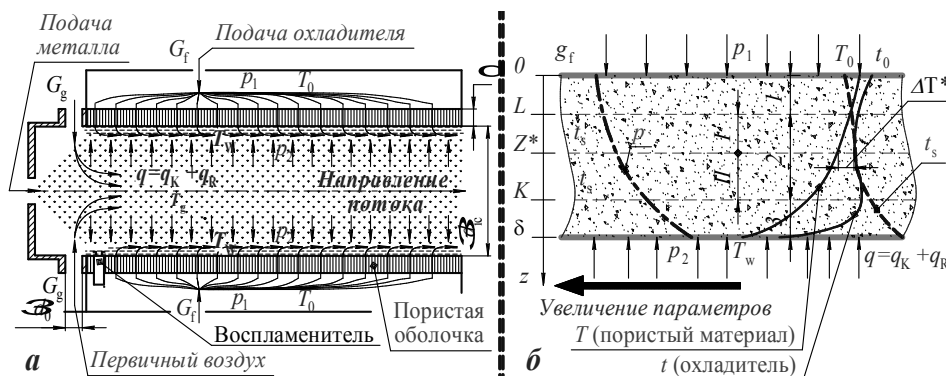


Рис. 6. Принципиальная схема камеры воспламенения установки (а) и физическая модель процесса испарительного охлаждения пористой стенки (б)

То есть получены зависимости [4] необходимой теплоемкости охладителя и толщины оболочки δ от удельного расхода охладителя g_f , обеспечивающего температуру около внутренней по-

верхности T_w не более 350 К, что является оптимальным с точки зрения тепловой защиты. Данные зависимости представлены на рис. 7.

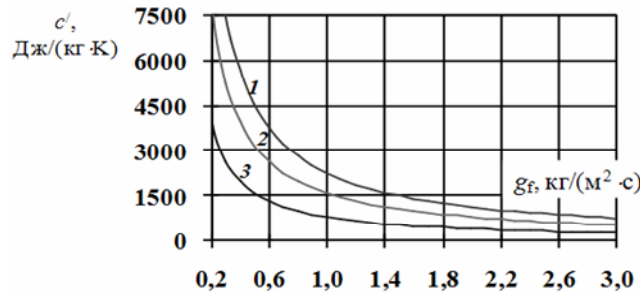


Рис. 7. Зависимость удельного расхода охлаждаителя КВ от его теплоемкости: для высокопористых ячеистых материалов на основе W и Mo (1), высокопористых пролициаемых алюминосиликатов (2) и пористых углеродных материалов (3): $\delta = 0,01$ м

3. НЕКОТОРЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ОТБОРА

Одним из важных режимов технологического процесса, как показывают эксперименты, является режим изменения коэффициента избытка воздуха α по длине камеры сгорания (рис. 1), поскольку от него во многом зависит дисперсность образующегося УДП. Варьирование α по длине камеры сгорания может осуществляться путем изменения диаметра и числа отверстий для подвода воздуха.

Если воздух подводится в КС с критической скоростью, то коэффициент камеры (отношение произведения полного давления на площадь выходного сечения сопла к суммарному расходу компонентов и функции коэффициента α) при рабочем давлении (около 0,2 МПа) приближается к 1 (рис. 8, а), что означает хорошие значения полноты сгорания порошка АСД-4, которая пропорциональна коэффициенту камеры в степени 2...3 [2]. Это объясняется лучшим перемешиванием порошкообразного горючего с воздухом при увеличении скорости воздушной струи.

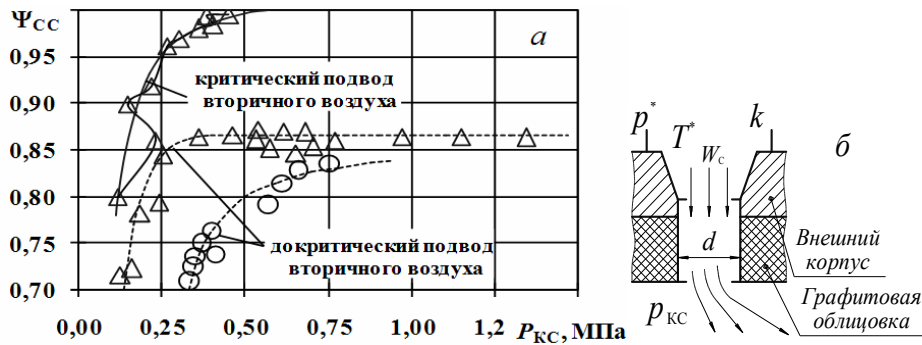


Рис. 8. Зависимость коэффициента полноты сгорания порошков алюминия в установке синтеза УДП Al_2O_3 от давления [2]:

○ — АСД-1, Δ — АСД-4 (а) и схема газодинамического расчета отверстий для подвода воздуха в камеру сгорания (б)

Отверстия, через которые в КС подается воздух, представляют собой каналы постоянного сечения (рис. 8, б). Поскольку суммарная площадь отверстий в стенке КС намного меньше, чем площадь ее поверхности, то можно считать, что давление p^* и температура T^* равны пара-

метрам заторможенного потока. При проходе через канал давление изменяется от p^* до $p_{\text{кв}}$, а скорость потока изменяется от начального значения до $W_{\text{с}}$. Скорость $W_{\text{с}}$ на выходе канала можно оценить по отношению давлений $p_{\text{кв}}/p^*$ [7]. Для обеспечения критической скорости подвода должно выполняться неравенство $p_{\text{кв}}/p^* < 0.528$ [7].

На основании уравнения расхода в газодинамической форме [7] можно получить выражение для диаметра d одного отверстия:

$$d = \left(\frac{4G_{\text{ох2}} \cdot \sqrt{T^*}}{N \phi m p^* q(\lambda) \pi} \right)^{0.5}, \quad (2)$$

где $G_{\text{ох2}}$ – общий расход вторичного воздуха, кг/с; N – число отверстий; ϕ – коэффициент расхода, учитывающий потери; $q(\lambda)$ – газодинамическая функция расхода; T^* – температура торможения; m – постоянный для данного газа коэффициент [7].

Расход вторичного воздуха можно определить через расход порошка металла $G_{\text{р}}$, коэффициент избытка воздуха α и стехиометрическое соотношение реакции

$$G_{\text{ох2}} = \chi \alpha G_{\text{р}}. \quad (3)$$

Таким образом, имеем функцию зависимости d от α :

$$d(\alpha) = \left(\frac{4\chi \alpha G_{\text{р}} \cdot \sqrt{T^*}}{N \phi m p^* q(\lambda) \pi} \right)^{0.5}. \quad (4)$$

Используя такие зависимости, можно для соответствующих сечений камеры сгорания подбирать конструктивные параметры (диаметр отверстий при заданном их количестве), обеспечивая требуемую зависимость α от координаты x .

С помощью программного комплекса АСТРА.4 проводились [8] термодинамические расчеты состава продуктов сгорания, образующихся в устройстве отбора целевого продукта [4]. Результаты исследований, представленные на рис. 9, позволяют установить диапазон отношения расхода воды к расходу воздуха, при котором значения концентраций оксидов азота NO и NO_2 не превышают допустимых значений. Отношение $G_{\text{H}_2\text{O}}/G_{\text{Al}}$ не должно быть меньше 11 для обеспечения возможности варьирования коэффициента воздуха в камере сгорания $2 \leq \alpha \leq 5$.



Рис. 9. Области допустимых и недопустимых значений относительных расходов воды и коэффициента избытка воздуха α

Необходимое значение расхода воды определяется из уравнения теплового баланса – равенства теплоты химической реакции и теплоты, полученной при нагревании воды от 273 до 373 К в устройстве отбора.

Таким образом, при выявлении рациональных значений расхода воздуха и металла [4], в пределах которых горение потока аэрозвеси металла можно использовать для получения УДП Al_2O_3 с размером частиц 30...300 нм при максимуме распределения частиц по размерам

100 нм, установлены диапазоны значений основных параметров внутрикамерных процессов в установке [2, 4] (табл. 1). В табл. 2 представлены способы регулирования дисперсности целевого продукта, выявленные при анализе теоретических работ А.Я. Лукина и А.М. Степанова [5]. Следует, однако, отметить, что существуют более эффективные методы управления дисперсностью за счет введения в исходную смесь небольшого количества (2...5 %) добавок, существенно повышающих ионизацию реагирующей смеси, и, следовательно, снижающего размер частиц продуктов сгорания [3].

Таблица 1

Основные параметры рабочих процессов в установке получения УДП Al_2O_3

Узел установки	Параметры рабочих процессов	Значение параметров
<i>Система подачи</i>	1. Расход исходного порошкообразного материала, кг/с 2. Давление, МПа	0,05÷0,10 1,25÷2,5
<i>Камера воспламенения</i>	1. Скорость подвода первичного воздуха 2. Коэффициент избытка воздуха α 3. Расход первичного воздуха, кг/с 4. Давление, МПа 5. Температура (равновесная), К 6. Скорость потока, м/с	дозвуковая 0,1 ÷ 0,5 0,05÷0,2 0,15÷0,25 2500 ÷ 3000 5 ÷ 100
<i>Камера сгорания</i>	1. Скорость подвода вторичного воздуха 2. Коэффициент избытка воздуха α 3. Расход вторичного воздуха, кг/с 4. Давление, МПа 5. Температура (равновесная), К 6. Скорость потока, м/с	критическая 2 ÷ 5 0,3÷0,8 0,1÷0,2 1700 ÷ 3000 50 ÷ 200
<i>Устройство отбора целевого продукта</i>	1. Расход дистиллированной воды, кг/с 2. Температура (равновесная), К 3. Скорость потока, м/с 4. Давление, МПа	2÷5 350 ÷ 370 5 ÷ 10 0,1

Таблица 2

Способы регулирования дисперсности УДП оксида (размера частиц D_q)

Параметр, влияющий на дисперсность Al_2O_3	Закон регулирования	Способ регулирования
1. Давление в камере сгорания P_{KC}	$D_q \sim P_{KC}^{1/3}$	1. Изменение критического сечения сопла $S_{кр}$: $S_{кр} \downarrow \Rightarrow P_{KC} \uparrow$ и $D_q \uparrow$ $\diamond$ $S_{кр} \uparrow \Rightarrow P_{KC} \downarrow$ и $D_q \downarrow$ 2. Пропорциональное изменение расходов воздуха и порошка при постоянном α : $G_{Al} \uparrow$ и $G_B \uparrow \Rightarrow P_{KC} \uparrow$ и $D_q \uparrow$ ($\alpha = \text{const}$) $G_{Al} \downarrow$ и $G_B \downarrow \Rightarrow P_{KC} \downarrow$ и $D_q \downarrow$ ($\alpha = \text{const}$)
2. Температура в зоне конденсации УДП в камере сгорания T_{CZ}	$D_q \sim T_{CZ}$	Изменение расхода воздуха в зоне конденсации – изменение коэффициента α_{CZ} : $\alpha_{CZ} \uparrow \Rightarrow T_{CZ} \downarrow$ и $D_q \downarrow$ $\diamond$ $\alpha_{CZ} \downarrow \Rightarrow T_{CZ} \uparrow$ и $D_q \uparrow$
3. Размер частиц исходного порошка алюминия d_{Al}	$D_q \sim d_{Al}^{1/3...2/3}$	Применение исходного порошка с требуемым размером частиц: $d_{Al} \uparrow \Rightarrow D_q \uparrow$ $\diamond$ $d_{Al} \downarrow \Rightarrow D_q \downarrow$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе получены следующие результаты.

Определены основные взаимосвязи параметров рабочих процессов для системы подачи и камеры воспламенения установки получения УДП Al_2O_3 .

Выполнен расчет процесса транспирационного охлаждения пористой оболочки и получены зависимости между теплоемкостью охладителя и его массовым расходом, обеспечивающим температуру внутренней поверхности не более 350 К.

Определены зависимости конструктивных параметров распределителя воздуха, подводимого в камеру сгорания в зависимости от необходимого коэффициента избытка воздуха α .

Описаны способы регулирования дисперсности целевого продукта.

Представленные результаты исследований позволяют выполнять оценку совершенства разрабатываемых технических решений по промышленным установкам получения нанодисперсных материалов с точки зрения технической возможности их реализации в заданных пределах изменения величины параметров рабочих процессов и габаритов элементов конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ремпель А.А. Нанотехнологии, свойства и применение наноструктурных материалов / А.А. Ремпель // Успехи химии. – 2007. – Т. 76. – № 5. – С. 474–500.
- [2] Малинин В.И. Воспламенение и горение аэрозвеси алюминия в реакторе высокотемпературного синтеза порошкообразного оксида алюминия / В.И. Малинин, Е.И. Коломин, И.С. Антипин // Физика горения и взрыва. – 2002. – Т. 38. – № 5. – С. 41–51.
- [3] Полетаев Н.И. Дисперсность продуктов сгорания металлов в ламинарном пылевом факеле / Н.И. Полетаев, А.Н. Золотко, Ю.А. Дорошенко // Физика горения и взрыва. – 2011. – Т. 47. – № 2. – С. 30–44.
- [4] Крюков А.Ю. Адаптация внутрикамерных процессов и элементов конструкции энергоустановок на порошковом горючем к технологиям получения ультра- и нанодисперсных материалов: монография / А.Ю. Крюков. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011. – 236 с.
- [5] Лукин А.Я. Теоретическое исследование процессов образования конденсированных продуктов при горении частиц металла / А.Я. Лукин, А.М. Степанов // Физика горения и взрыва. – 1983. – Т. 19. – № 4. – С. 45–49.
- [6] Поляев В.М. Гидродинамика и теплообмен в пористых элементах конструкции летательных аппаратов / В.М. Поляев, В.А. Майоров, Л.Л. Васильев. – М.: Машиностроение, 1988. – 168 с.
- [7] Сергель О.С. Прикладная гидрогазодинамика: учебник для авиационных вузов / О.С. Сергель. – М.: Машиностроение, 1981. – 374 с.
- [8] Трусов Б.Г. Моделирование химических и фазовых равновесий при высоких температурах (АСТРА.4). Препринт МГТУ, 1991. – 30 с.

REFERENCES

- [1] Rempel A.A. Nanotechnologies. Properties and applications of nanostructured materials // Russian chemical reviews, 2007, vol. 76, no 5, pp. 435–461.
- [2] Malinin V.I., Kolomin E.I., Antipin I.S. Ignition and combustion of aluminum-air suspensions in a reactor for high-temperature synthesis of alumina powder // Combustion, explosion, and shock waves, 2002, vol. 38, no 5, pp. 41–51.
- [3] Poletaev N.I., Zolotko A.N., Doroshenko Y.A. Degree of dispersion of metal combustion products in a laminar dust flame // Combustion, Explosion, and Shock Waves, 2011, vol. 47, no. 2, pp. 153–165.
- [4] A.Yu. Kryukov. Adaptacija vnutrikamernyh processov i jelementov konstrukcii jenerougustanovok na poroshkovom gorjuchem k tehnologijam poluchenija ul'tra- i nanodispersnyh materialov. – Perm: publishing house of Perm National Research Polytechnic University, 2011, 236 p.
- [5] Lukin A.Ya, Stepanov A.M. Theoretical research of forming processes of condensed products when burning of metal particles // Combustion, Explosion, and Shock Waves, 1983, vol. 19, no. 4, pp. 45–49.
- [6] Poljaev V.M., Majorov V.A., Vasil'ev L.L. Gidrodinamika i teploobmen v poristyh jelementah konstrukcii letatel'nyh apparatov. – Moscow: Mashinostroenie, 1988, 168 p.
- [7] Sergel' O.S. Prikladnaja gidrogazodinamika. – Moscow: Mashinostroenie, 1981, 374 p.
- [8] Trusov B.G. Modelirovanie himicheskikh i fazovyh ravnovesij pri vysokih temperaturah (ASTRA.4). Preprint BMSTU, 1991, 30 p.

Крюков Алексей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры инновационных технологий машиностроения ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». Основное направление научных исследований – проектирование технологических установок для получения ультрадисперсных оксидов и нитридов методом сжигания аэрозвесей металлических порошков в прямоточных камерах сгорания, математическое моделирование теплообмена, рабочих процессов пневмотранспорта, горения металлических порошков. Имеет 35 публикаций, в том числе 4 учебных пособия и 1 монографию. E-mail: alexkryukov@list.ru

Малинин Владимир Игнатьевич, доктор технических наук, профессор кафедры ракетно-космической техники и энергетических систем ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». Основное направление научных исследований – разработка регулируемых энергоустановок на порошкообразном металлическом горючем, математическое моделирование процессов течения и горения аэрозвесей металлов. Имеет более 70 публикации, в том числе 1 монографию. E-mail: alexkryukov@list.ru

Ярушин Станислав Геннадьевич, доктор технических наук, профессор кафедры инновационных технологий машиностроения ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». Основное направление научных исследований – поиск и обоснование принципиально новых технических решений для тепловых двигателей разного класса и назначения, методология проектирования и расчета сложных технических систем, теория управления динамическими системами, автоматизация и управление технологическими процессами и производствами. Имеет более 70 публикаций, в том числе 4 учебника пособия в грифами УМО и МОиН и 2 монографии. E-mail: yarushin.s@yandex.ru

A.Y. Kryukov, V.I. Malinin, S.G. Yarushin

Calculation of operational characteristics of units of ultra- and nanodispersed oxides and nitrides obtaining by method of metals gas suspensions combustion

The methods and results of tasks solution on schematic circuits development and on a calculation of design values of feed system and ignition chamber of installations intended for manufacture of ultrafine alumina by a metal powder incineration in a straight flow chamber are given. The processes of metal powder pneumatic transport in the reaction zone and ignition of aluminium in the chamber were investigated. The dependences of characteristics of works processes on constructs parameters are obtained. These obtained dependences are important for a development of installation components ensuring necessary metal and air consumption, completeness of combustion of source material and thermal conditions of ignition chamber work. The parameters of water supply (depending on the air consumption) in the device of desired product selection ensuring ecological safety of technique and required thermal regime of assembly work are grounded. Also means of desired product dispersion control displayed at the analysis of publications on metal powders burning are offered. The presented results of research allow to make assessment of perfection of engineering solutions on industrial units of nanodispersed materials being developed. The engineering solutions can be estimated from the point of view of possibility of their realization in prescribed limits of changing of work parameters value and dimensions of construct features.

Key words: metal powder combustion, oxide, nitride, parameters of co-chamber processes, supply system, incineration chamber, parameters of functioning.