

узла и уменьшить зазоры в механизме, что обеспечивает плавность и невысокий уровень шума при работе привода.

К достоинствам разработанного привода можно отнести то, что он имеет небольшие габариты (диаметр 195 мм и длина 325 мм), вес и может работать в диапазоне рабочего давления от 0,1 МПа до 1,0 МПа.

Испытания экспериментального образца пневмопривода показали, что предложенная конструктивная схема работоспособна. Устройство обеспечивает реверсивное вращение приводного вала во всем диапазоне рабочего давления. Максимальный крутящий момент, создаваемый на валу привода, составляет 365 Нм при давлении 1,0 МПа. Применение четырех таких приводов в качестве двигателя самоходного шасси позволит ему перемещаться по поверхности при максимальном весе шасси с полезной нагрузкой не более 240 кг.

Таким образом, в результате проделанной работы был спроектирован, изготовлен и испытан пневматический привод нового поколения для применения его в качестве двигателя транспортного средства, который показал свою работоспособность. Для оценки других параметров привода необходимо провести дополнительные исследования.

Библиографические ссылки

1. Абрамчук Ф. И., Воронков А. И., Никитченко И. Н. О достоинствах и целесообразности применения поршневого пневмодвигателя в составе автомобильной гибридной силовой установки // Вестник ХНАДУ. – 2010. – № 48. – С. 200.

2. О требованиях к конструкции и рабочему процессу пневмодвигателя для комбинированной энергоустановки автомобиля / А. Н. Туренко, В. А. Богомолов, Ф. И. Абрамчук [и др.] // Автомобильный транспорт : сб. научн. тр. – Харьков : ХНАДУ. – 2006. – Вып. 18. – С. 7–12.

S. V. Zhilyayev, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

S. D. Kugultinov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Yu. P. Murzin, PhD in Engineering, CJSC PA "DJET", Izhevsk

T. V. Lomaeva, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Pneumatic Drive for Wheels of Self-Propelled Off-Road Vehicles

The design of the pneumatic drive of wheels is given in the paper for an off-road vehicle hybrid power train.

Key words: pneumatic drive, self-propelled off-road vehicle.

УДК 621.453

Д. А. Болховских, аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

В. И. Малинин, доктор технических наук, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Р. В. Бульбович, доктор технических наук, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ВЯЗКОСТИ В СМЕСЯХ АЛЮМИНИЯ И КИСЛОРОДОСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВ В ФОРКАМЕРЕ УСТАНОВКИ СИНТЕЗА НАНООКСИДОВ

Коэффициенты теплопроводности и вязкости зависят от газового состава и температуры алюминиево-газовой смеси. Эти коэффициенты, определенные термодинамическими расчетами, сравниваются со справочными данными для кислородо-аргоновой смеси, отраженными в научно-технической литературе. Определено, что коэффициенты, рассчитанные по справочным данным, можно использовать в математической модели горения алюминиево-кислородо-аргоновой смеси для определения кинетических параметров процесса горения.

Ключевые слова: синтез наноксидов, коэффициенты вязкости и теплопроводности.

В ОКБ «Темп» при ПНИПУ создана экспериментальная установка сжигания газовзвесей металлических порошков и синтеза дисперсных оксидов, которая описана в работе [1]. Установка состоит из системы подачи, форкамеры (ФК), камеры сгорания, устройства отбора дисперсных продуктов. Форкамера предназначена для смешения порошка с первичным воздухом, воспламенения и первичного горения. Камера сгорания – для сжигания продуктов первичного горения, истекающих из ФК, и синтеза оксида с заданными свойствами.

В работе [2] рассмотрены процессы, протекающие в форкамере опытно-промышленной установки сжигания газовзвесей металлических порошков и синтеза дисперсных оксидов. Описаны наиболее значимые параметры в форкамере, влияющие на получение наноксида алюминия. Учитывая влияние этих параметров, подобраны компоненты, способствующие улучшению процесса синтеза и качества наноксида алюминия. Исследованы различные алюминиево-газовые смеси, содержащие инертные по отношению к алюминию компоненты. По резуль-

татам исследований сделан вывод, что для производства наноксида лучше всего использовать смесь $Al+O_2+Ar$.

В работе [1] разработана математическая модель горения потока полифракционной переобогащенной алюминиево-воздушной смеси. Предложенная модель учитывает основные факторы, влияющие на процесс образования оксида: кинетические ограничения процессов испарения и поверхностные химические реакции. Основной особенностью горения частиц алюминия, связанной с кинетическими ограничениями и образованием оксида, является сильная неравновесность процессов горения, которая сопровождается интенсивным переносом импульса, энергии (тепла) и массы. Процессы переноса характеризуются коэффициентом вязкости μ и теплопроводности λ . Коэффициенты переноса влияют на скорость преобразования алюминия в конечный продукт. Стоит отметить, что коэффициенты переноса зависят от состава и температуры продуктов первичного горения алюминиево-газовой смеси, поэтому необходимо определить эти зависимости.

В работе [2] отражены конечные значения состава и температуры смеси в форкамере. Однако для определения оптимальных параметров алюминиево-газовой смеси необходимо учитывать кинетику процесса, которую можно посчитать с помощью кинетической модели, описанной в источнике [1]. В работе [1] коэффициенты переноса рассчитаны для смеси $Al+воздух$, а в данном исследовании рассматривается смесь, рекомендованная в [2].

Цель настоящей работы – адаптировать существующую математическую модель горения потока полифракционной, переобогащенной алюминиево-воздушной смеси для расчета кинетики процессов горения смеси $Al+O_2+Ar$ в форкамере установки синтеза.

Задачи исследования:

1. Рассчитать коэффициенты теплопроводности и вязкости для смеси $Al+O_2+Ar$.
2. Определить зависимости коэффициентов от состава и температуры продуктов первичного горения (горение в форкамере).

Существуют справочные данные коэффициентов переноса (теплопроводности и вязкости) для газовой смеси O_2+Ar , изменяющиеся в широком диапазоне температур: 300...4000 К. Зависимости коэффициентов теплопроводности и вязкости от температуры отражены в источнике [3]:

- коэффициент теплопроводности смеси O_2+Ar

$$\lambda = 0,057 \cdot \left(\frac{T}{1000} \right)^{0,75}, \quad (1)$$

где T – температура продуктов сгорания;

- коэффициент вязкости смеси O_2+Ar

$$\mu = 20,7 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{T}{300} \right)^{0,7}. \quad (2)$$

Погрешность данных формул менее 5 %, однако неизвестно, насколько точно по ним можно посчитать коэффициенты переноса для смеси $Al+O_2+Ar$. При горении такой смеси изменяется не только температура, но и газовый состав, изменение которого может оказать влияние на коэффициенты.

Отметим, что в существующей литературе данных, учитывающих газовый состав смеси $Al+O_2+Ar$, нет. Поэтому для определения коэффициентов теплопроводности и вязкости алюминиево-газовой смеси необходимо использовать термодинамические расчеты, в которых эти коэффициенты определяются с учетом изменения температуры и состава смеси.

В данной работе применяется многоцелевой программный комплекс АСТРА.4 [4], предназначенный для определения характеристик равновесия, фазового и химического состава произвольных систем.

Теоретические методы являются основным источником информации о свойствах переноса высокотемпературных продуктов сгорания. В отличие от элементарной теории эти методы основаны на решении системы интегродифференцированных уравнений Больцмана для функции распределения частиц по скорости в зависимости от координат частицы и времени с учетом сложного взаимодействия молекул между собой. Коэффициенты переноса зависят от взаимодействия молекул при их движении. В общем случае это взаимодействие не может быть описано аналитической функцией расстояния между молекулами. Поэтому для расчетных целей применяются различные модели взаимодействия в виде эмпирических зависимостей энергии взаимодействия φ от расстояния и ориентации молекул. Эти зависимости находят отражение в расчетных формулах для коэффициентов переноса в виде интегралов столкновений [5].

Проводится термодинамический расчет, определяются характеристики равновесия исследуемой металлогазовой смеси, содержание компонентов смеси, значения коэффициентов вязкости, теплопроводности и температура продуктов первичного горения. В расчетах изменяется отношение расхода окислителя к алюминию и аргона к окислителю (G_{ox}/G_{Al} , G_{Ar}/G_{ox}). Условное равновесие системы определяется по сгоревшей части алюминия. Несгоревшие частицы алюминия крупные, и теплообмен между ними и газом незначителен, поэтому несгоревшей частью Al пренебрегаем.

Коэффициент избытка окислителя, определенный по сгоревшей части смеси, рассчитывается по формуле

$$\alpha_{com} = \frac{\alpha}{\varphi_{com}}, \quad (3)$$

где α – коэффициент избытка окислителя в форкамере, φ_{com} – коэффициент полноты сгорания.

Коэффициент α изменяется в диапазоне от 0,2 до 0,4 [2]. Согласно (3), если $\varphi_{com} \rightarrow 1$, то $\alpha_{com} \rightarrow \alpha$, а если $\varphi_{com} \rightarrow 0$, то $\alpha_{com} \rightarrow \infty$. Авторами рассматри-

вается изменение коэффициента α_{com} в диапазоне от 0,2 до 5,6, так как при больших значениях α_{com} состав сгоревшей части смеси мало отличается от состава кислородо-аргоновой смеси.

На основе термодинамических расчетов, проведенных с помощью программного комплекса АСТРА.4, и математических формул (1), (2) построены графики зависимостей температуры продуктов сгорания, коэффициентов λ и μ от коэффициента избытка окислителя α_{com} , определенного по сгоревшей части смеси, представленные на (рис. 1–3).

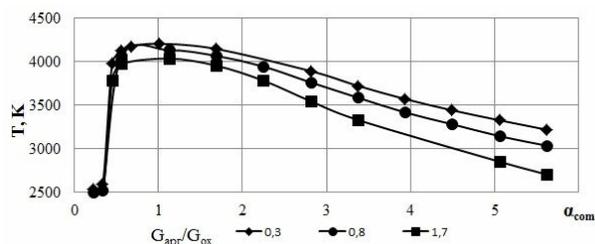


Рис. 1. Зависимости температуры продуктов сгорания T от коэффициента α_{com} при разном отношении расходов аргона и окислителя

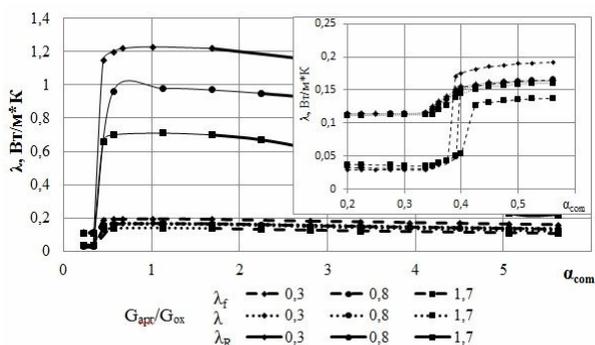


Рис. 2. Зависимости замороженного λ_f , равновесного λ_R и λ , рассчитанного по формуле (1), значений коэффициента теплопроводности от α_{com} при разном отношении расходов аргона и окислителя

Зависимость коэффициентов λ и μ , рассчитанных по формулам (1), (2), от α_{com} определялась на основе

зависимости температуры продуктов сгорания T от α_{com} (рис. 1). Для сравнения со значениями, рассчитанными по формуле (1), выбираем замороженные значения коэффициента теплопроводности, так как при образовании оксида наблюдается сильная неравновесность процесса горения. Анализ кривых зависимости λ_f и λ (рис. 2), μ_T и μ (рис. 3) от α_{com} показывает, что различия между термодинамическими и рассчитанными по формуле (1), (2) значениями коэффициентов теплопроводности и вязкости наблюдаются при малых значениях $\alpha_{\text{com}} = 0,2 \dots 0,4$. Коэффициент избытка окислителя, определенный по сгоревшей части смеси, достигает вышеуказанных значений при завершении процессов, протекающих в ФК.

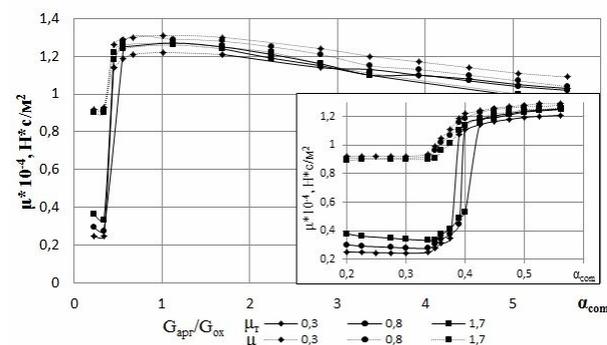


Рис. 3. Зависимости термодинамического μ_T и μ , рассчитанного по формуле (2), значений коэффициента вязкости от α_{com} при разном отношении расходов аргона и окислителя

В табл. 1 и 2 показаны основные отличия справочных [3] и термодинамических значений коэффициента теплопроводности и вязкости. При малых $\alpha_{\text{com}} = 0,2 \dots 0,4$ погрешность между термодинамическими и рассчитанными по формулам (1), (2) значениями этих коэффициентов больше 100 %, а при $\alpha_{\text{com}} = 0,4 \dots 5,6$ – менее 10–20 %. Соответственно, в математической модели горения потока полифракционной, переобогащенной алюминиево-кислородо-аргоновой смеси можно использовать коэффициенты λ и μ , рассчитанные по формулам (1), (2) при $\alpha_{\text{com}} = 0,4 \dots 5,6$.

Таблица 1. Отличия справочных и термодинамических значений коэффициента теплопроводности

Смесь	α_{com}	λ_f , Вт/м·К	ν , Вт/м·К	$\frac{ \lambda_f - \lambda }{\lambda_f} \cdot 100\%$
Al+Ar+O ₂	0,2...0,4	0,03...0,13	0,110...0,160	> 100 %
	0,4...1,6	0,13...0,19	0,160...0,165	< 20 %
	1,6...5,6	0,19...0,10	0,165...0,120	< 15 %

Таблица 2. Отличия справочных и термодинамических значений коэффициента вязкости

Смесь	α_{com}	$\mu_T \cdot 10^{-4}$, Н·с/м ²	$\mu \cdot 10^{-4}$, Н·с/м ²	$\frac{ \mu_T - \mu }{\mu_T} \cdot 100\%$
Al+Ar+O ₂	0,2...0,4	0,24...1,18	0,90...1,26	> 100 %
	0,4...1,6	1,14...1,27	1,26...1,30	< 10 %
	1,6...5,6	1,27...0,96	1,30...0,96	< 5 %

В данной работе рассчитаны коэффициенты теплопроводности и вязкости для смеси $Al+O_2+Ar$. Определены термодинамические зависимости коэффициентов λ и μ от состава и температуры продуктов сгорания. Коэффициенты теплопроводности и вязкости, рассчитанные по справочным данным, рекомендуется использовать в математической модели горения потока переобогащенной алюмининево-кислородо-аргоновой смеси при коэффициенте избытка окислителя, определенного по сгоревшей части, $\alpha_{com} = 0,4 \dots 5,6$. При $\alpha_{com} < 0,4$ рекомендуется использовать термодинамические значения коэффициентов теплопроводности и вязкости, определенные в данной работе.

Подставив полученные в настоящем исследовании данные в математическую модель горения потока полифракционной, переобогащенной алюмининево-воздушной смеси, описанную в работе [1], можно определить кинетические параметры процесса горения смеси $Al+O_2+Ar$, такие как скорость протекания

реакции и необходимое время пребывания смеси в форкамере.

Библиографические ссылки

1. *Малинин В. И.* Внутрикамерные процессы в установках на порошкообразных металлических горючих. – Екатеринбург ; Пермь : УрО РАН, 2006. – 262 с.
2. *Болховских Д. А., Малинин В. И., Бульбович Р. В.* Исследование составов металлогазовых смесей для получения нанодисперсного оксида алюминия // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2012. – № 33. – С. 109–123.
3. *Физические величины : справочник / А. П. Бабичев, Н. А. Бабушкина, А. М. Братковский [и др.] ; под ред. И. С. Григорьева, Е. Е. Мелихова.* – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 1223 с.
4. *Трусев Б. Г.* Моделирование химических и фазовых равновесий при высоких температурах. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1991. – 40 с.
5. *Алемасов В. Е., Дрегалин А. Ф., Тишин А. П.* Теория ракетных двигателей : учебник для студентов высших технических учебных заведений / под ред. В. П. Глушко. – М. : Машиностроение, 1989. – 268 с.

D. A. Bolkhovskikh, Post-graduate, Perm National Researching Polytechnic University

V. I. Malinin, DSc in Engineering, Professor, Perm National Researching Polytechnic University

R. V. Bulbovich, DSc in Engineering, Professor, Perm National Researching Polytechnic University

Determination of Coefficients of Viscosity and Heat Conductivity in Aluminum Mixtures and Oxygenic Gases in the Prechamber of Nanooxide Synthesizing Plant

Coefficients of viscosity and heat conductivity depend on gas composition and temperature of aluminum gas mixture. These coefficients defined by thermodynamic calculations are compared with oxygen-argon mixture referenced data reflected in scientific and technical literature. It is determined that referenced data calculated coefficients can be used in mathematical model of combustion aluminum-oxygen-argon mixture to determine the kinetic parameters of combustion process.

Key words: synthesis of nanooxide, coefficients of viscosity and heat conductivity.

УДК 629.3.023

Soheir A. R. Naga, PhD, Professor, Helwan University, Cairo, Egypt

Tamer A. El-Sayed, PhD, Assistant Professor, Helwan University, Cairo, Egypt,

Ehab Soliman, MSc, PhD student, Egyptian Russian University, Badr City, Cairo, Egypt

AN APPROACH TO DESIGN A COMPOSITE MONO LEAF SPRING USING FEA

The aim of this paper is to design a mono leaf spring with a minimum weight and the same stiffness as a conventional mono leaf spring for a passenger vehicle. Finite element analysis using ANSYS 14 of the steel leaf spring and unidirectional E-glass epoxy composite (UEC) with fiber volume fractions (Vf) 0.5, 0.6 and 0.7 has been carried out. For each Vf the thickness of the spring was estimated to obtain the same stiffness as the conventional steel mono leaf spring. The analysis showed that safe composite mono leaf springs with same stiffness, same strain energy stored and with a beneficial reduction in weight can be designed by changing the thickness of the spring depending on the Vf.

Key words: leaf spring, composite material, strain energy.

The leaf spring is still widely used because it is considered more consistent on tacky and rough roads. The leaf spring has several functions as it supports the chassis weight, controls braking forces and absorb shocks. The stored elastic strain energy in a leaf spring can be expressed according to [1–3]

$$u = \frac{1}{2} \frac{\sigma^2}{\rho E}, \quad (1)$$

where σ is the allowable stress, E is the young's modulus and ρ is the density. The stored strain energy is an important parameter in the selection of leaf spring material. Equation (1) shows that increasing the strength of material and decreasing both modulus of Elasticity E and density ρ of material lead to an increase in the stored strain energy. The composite material is a suitable selection as it has higher strain energy and lower weight.