

УДК 621. 1. 076 - 627. 7

Ю.А. ГУСЕВ, О.М. БУГАЕНКО

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ГАЗОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА С МНОГОФАЗНЫМ РАЗГОННЫМ УСТРОЙСТВОМ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Статья посвящена разработке перспективных направлений по исследованию многофазных потоков, а также расширению области применения установки с многофазным разгонным устройством в различных областях народного хозяйства, а именно для нанесения кремнийорганических покрытий на различные поверхности большой площади. Представлена математическая модель двухфазного разгонного устройства обеспечивающего необходимую объемную концентрацию дисперсной фазы потока как жидких, так и порошкообразных кремнийорганических материалов. Рассматривается обобщенный технологический процесс нанесения кремнийорганического защитного покрытия на наружную поверхность трубы большого диаметра.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, выходное устройство, газотурбинная установка, дальность бойности, кремнийорганические соединения, адгезия, многофазный поток.

Введение

В Национальном аэрокосмическом университете им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» проводятся работы по моделированию многофазных потоков, проектированию разгонных устройств, а также изготовлению установок для доставки сорбентов и биодеструкторов при обезвреживании нефтяных загрязнений [1]. Эти разработки положили начало исследованиям по расширению области применения многофазных установок на базе авиационных двигателей, которые являются мощным источником несущей газовой фазы, и могут быть использованы для различных нужд народного хозяйства.

1. Формулирование проблемы

В настоящее время для защиты различных металлоконструкций, труб большого диаметра газопроводов и других объектов, нуждающихся в защите от действия агрессивных сред, широкое применение находят кремнийорганические покрытия. Они сочетают в себе хорошие термо- морозо- свето- и атмосферостойкость, отличную адгезию к металлу, хорошую эластичность и высокую скорость отверждения с набором заданных свойств.

Существует способ получения покрытий, называемый - газопламенным или газотермическим. Он основан на нагреве исходного (порошкообразного) кремнийорганического соединения до вязкотекучего состояния и его распыления газовой струей на предварительно подготовленные поверхности. Нагретые в газовом потоке частицы с большой скоростью на-

правляются на изделие и при ударе сцепляются с поверхностью и друг другом, образуя сплошное покрытие.

Схема аппарата для получения покрытия газопламенным способом показана на рис. 1 [2].

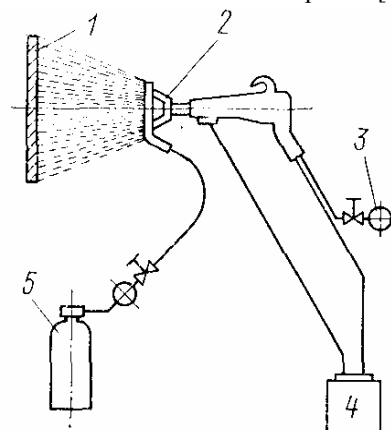


Рис. 1. Аппарат для получения покрытия способом газопламенного напыления:
1 – изделие; 2 – распылительная горелка;
3 – редуктор; 4 – порошковый питатель;
5 – баллон с ацетиленом.

Существующие установки и методы нанесения этих покрытий могут обеспечить небольшие расходы защитных материалов [2], поэтому процесс нанесения покрытия для защиты больших площадей различных сооружений может занимать продолжительное время.

В связи с этим создание установок, обеспечивающих нанесение защитных покрытий на большие площади и за малое время, является актуальным.

2. Решение проблемы

Доставку и нанесение кремнийорганических покрытий на большие площади покрываемой поверхности предлагается осуществлять с помощью устройства, разрабатываемого на базе газотурбинной установки, представленной в работе [1].

Рассматриваемая установка состоит из трех основных частей: газотурбинного двигателя (ГТД), камеры смешения и специального многофазного сопла.

Задача ГТД – формирование газового потока, являющегося несущей фазой, с заданными параметрами в выходном устройстве. В камере смешения происходит предварительная подготовка многофазного потока и снижение температуры газового потока, выходящего из ГТД, за счет подачи определенного количества воды (рис. 2).



Рис. 2. Схема разгонного многофазного устройства

Выходное устройство – многофазное сопло, представленное в работе, было разработано применительно к доставке сорбентов и биодеструкторов при сборе нефтяной пленки с водной поверхности. При этом было необходимо обеспечивать дальнотойность и определенную дисперсность многофазному потоку [1].

Выходное устройство может также формировать многофазный поток частиц кремнийорганических соединений (КОС).

Технология нанесения КОС требует соблюдения определенного температурного режима и скорости разгона частиц исходного материала для обеспечения необходимой адгезии кремнийорганических покрытий с поверхностью. Эти требования можно выполнить, проведя необходимые расчеты по профилированию разгонного сопла с использованием его математической модели [3].

Предлагаемая установка работает следующим образом. Частицы кремнийорганических соединений – твердая фаза или жидкая суспензия кремнийорганического соединения – жидкая фаза, подаются в камеру смешения выходного устройства установки на участке 0-1.

На рассматриваемом участке происходит образование двухфазного потока (кремнийорганическое соединение – газ), который на участке 1-2 перемещается и укоряется за счет кинетической энергии газового потока двигателя. Кремнийорганическое соединение подается в виде суспензии или в виде твердых частиц в камеру смешения, где происходит их подогрев (рис. 1).

В случае применения жидкого отвердителя поток на участке 1-2 будет трехфазным.

В качестве основной фазы могут рассматриваться различные кремнийорганические соединения минерального происхождения или на основе полимеров, а также акриловые эмали, водорастворимые лаки и краски, эпоксидные смолы, силиконы и др., которые не боятся высоких температур и являются покрытиями воздушного отверждения. Простейшим из таких покрытий является клей ПВА.

Данная установка может быть применена и для нанесения порошковых полимерных кремнийорганических материалов.

Для снижения температуры газового потока предусмотрена подача воды. Температура несущей фазы определяется исходя из термохимической стойкости исходного кремнийорганического материала (рис. 1).

В качестве источника газового потока используется вспомогательная газотурбинная установка, типа АИ – 9В, конструкция которой позволяет отбирать сжатый воздух от компрессора, температура которого не превышает 120 °С.

Многофазное разгонное устройство (выходное устройство) должно обеспечивать необходимую объемную концентрацию дисперсной фазы и дальнотойность потока при применении как жидких, так и порошкообразных кремнийорганических материалов.

Проектирование выходного устройства осуществлялось на базе математической модели (ММ), которая позволяет провести его разработку применительно к любому ГТД с учетом и режимов работы последнего [3].

ММ двухфазного разгонного устройства представлена уравнениями закона сохранения масс и энергии смеси, уравнением состояния и сохранения количества движения фаз; притока тепла к транспортируемой фазе, соотношениями для коэффициентов теплоотдачи и зависимостью, определяющей диаметр капель жидкой фазы [3].

Решение рассматриваемой ММ проводится с использованием замыкающих уравнений:

– закона изменения проскальзывания фаз по длине сопла

$$W_{\bar{a}} - W_k = a_0 + a_1 x + a_2 x^2; \quad (1)$$

– закона распределения давления в сопле

$$P = ax^3 + bx^2 + cx + d. \quad (2)$$

ММ позволяет решать прямую задачу (определение распределения параметров по длине сопла при его заданной геометрии) и обратную задачу – расчет профиля сопла.

За основу модели трехфазного разгонного устройства принята модель гетерогенного двухфазного потока, разработанная В.Г. Селивановым, дополненная уравнениями третьей фазы. ММ трехфазного сопла представлена следующими уравнениями:

Уравнения закона сохранения масс и энергии, а также уравнение состояния смеси имеют вид:

$$m_k = \rho_k W_k f_k; \quad m_a = \rho_a W_a f_a; \quad m_s = \rho_s W_s f;$$

$$f = f_a + f_k + f_s;$$

$$m_a \left(\tilde{N}_p T_a + \frac{W_a^2}{2} \right) + m_k \left(C_k T_k + \frac{W_k^2}{2} + \xi \frac{P}{\rho_k} \right) + m_s \left(C_s T_s + \frac{W_s^2}{2} + \xi \frac{P}{\rho_s} \right) = \text{Const}. \quad (3)$$

Уравнения сохранения количества движения фаз:

$$m_a dW_a = -f_a dP - dX_k - dX_{\text{оа}} - dX_s;$$

$$m_k dW_k = -\xi f_k dP + dX_k - dX_{\text{ок}}; \quad (4)$$

$$m_s dW_s = -\xi f_s dP + dX_s - dX_{\text{ос}}.$$

Уравнения притока тепла к жидкой и твердой фазам:

$$C_j \rho_j d_j dT_j = \alpha_j (T_a - T_j) \frac{dx}{W_j} \quad (5)$$

где W , T , P , C , m , f , ρ , α , ξ – параметры фаз: скорость, температура, давление, теплоемкость, масса, суммарная площадь сечения, занимаемая отдельной фазой, плотность, коэффициент теплопередачи, коэффициент влияния конечности объема соответственно, $j = k$ – жидкая фаза, s – твердая фаза.

При профилировании сопла трехфазного потока, т.е. при решении обратной задачи, использовались следующие замыкающие уравнения:

$$P = kx + b; \quad (6)$$

$$W_a - W_s = kx + b \quad (7)$$

С использованием представленной выше математической модели нами спроектированы и изготовлены двухфазные и трехфазные сопла, применительно к различным типам КОС.

Разработана специальная установка на базе малоразмерного двигателя - АИ -9В. Эта установка позволяет перемещать твердые частицы КОС или суспензию кремнийорганического материала с рас-

ходом порядка 2 – 5 кг/с на расстояние от 1 до 20 метров. На рис. 3 представлена экспериментальная установка на базе двигателя АИ-9В распыляющая суспензию ПВА.



Рис. 3. Распыл суспензии ПВА

На рис. 4 представлен технологическая схема нанесения кремнийорганического защитного покрытия на наружную поверхность трубы большого диаметра.

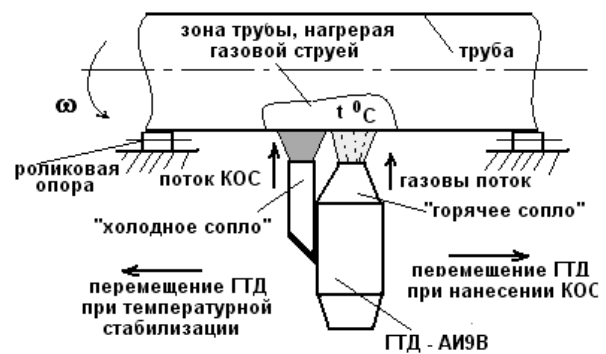


Рис. 4. Схема технологии нанесения кремнийорганического покрытия на трубу большого диаметра

Технологический процесс предусматривает установку трубы на специальные роликовые опоры, которые позволяют проводить поворот трубы. Газотурбинная установка с многофазным «холодным соплом», перемещается вдоль трубы.

Газовый поток двигателя, выходящий из его «горячего сопла» разогревает поверхность трубы до температуры, обеспечивающей максимальную адгезию покрытия.

Многофазный поток КОС поступает на поверхность трубы их «холодного сопла» (температура не более 120 °С).

Перемещение установки при повороте трубы относительно ее оси позволяет осуществить нанесение защитного покрытия по всей поверхности трубы. При необходимости возможно проведение температурной стабилизации покрытия путем его прогрева газовой струей двигателя при его обратном перемещении (рис. 4).

Авторы статьи выражают благодарность заведующему кафедрой технологии пластических масс Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» Авраменко Вячеславу Леонидовичу.

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод о том, что рассматриваемая математическая модель многофазного разгонного устройства позволяет спроектировать сопла, которые формируют многофазные потоки различных кремнийорганических материалов, и обеспечивают их доставку на защищаемую поверхность изделия или сооружения.

Предлагаемая установка, на базе авиационных ГТД, может успешно применяться для быстрого и качественного нанесения защитного покрытия с использованием различных кремнийорганических материалов.

Литература

1. Многофазный генератор на базе газотурбинного двигателя для решения задачи очистки водной поверхности от нефтепродуктов / О.М. Бугаенко, Ю.А. Гусев, С.В. Епифанов, А.В. Склярков // *Сучасні проблеми охорони довкілля раціонального використання водних ресурсів та очистки природних і стічних вод: Тр. Міжнар. наук–практ. конф. – К.: Товариство «Знання», 2007. – С. 49-52.*

2. Яковлев А.Д. Порошковые полимерные материалы и покрытия на их основе / А.Д. Яковлев, В.Ф. Здор, В.И. Каплан; 2-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1979. – 320 с.

3. Математическое моделирование многофункциональных генераторов трехфазных потоков на базе авиационных ГТД / С.В. Епифанов, О.М. Бугаенко, Ю.А. Гусев, А.В. Склярков // *Авиационно-космическая техника и технология. – 2005. – № 8 (24). – С. 58-61.*

Поступила в редакцию 12.02.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.И. Петухов. Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ГАЗОТУРБІННА УСТАНОВКА З БАГАТОФАЗНИМ РОЗГІННИМ ПРИСТРОЄМ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ КРЕМНІЙОРГАНІЧНОГО ПОКРИТТЯ

Ю.О. Гусев, О.М. Бугаенко

Стаття присвячена розробці перспективних напрямків з дослідження багатофазних потоків, а також розширенню області застосування установки з багатофазним розгінним пристроєм у різних областях народного господарства, а саме для нанесення кремнійорганічних покриттів на різних поверхнях великої площі. Представлена математична модель двофазного розгінного пристрою, який забезпечує необхідну оберну концентрацію дисперсної фази потоку, як рідких, так і порошкоподібних кремнійорганічних матеріалів. Розглядається узагальнений технологічний процес нанесення кремнійорганічного захисного покриття на зовнішню поверхню труби великого діаметру.

Ключові слова: газотурбінний двигун, вихідний пристрій, газотурбінна установка, далекобійність, кремнійорганічні з'єднання, адгезія, багатофазний потік.

GAS TURBINE PLANT WITH THE MULTIPHASE ACCELERATING DEVICE FOR THE ORGANIC SILICON COATING

Yu.A. Gusev, O.M. Bugaenko

The article describes the advanced research line development of the multiphase flows and expansion the plant with the multiphase accelerating device application area in different sectors of the national economy, notably for organic silicon coating of the large area surfaces. The mathematical of diphasic accelerating device, which provides necessary volume concentration of dispersed phase flow both in liquid and powder organosilicon materials, presented. Generalized operating procedure of the protective organic silicon coating of the outside surface of large diameter tube is considered.

Key words: gas turbine engine, output device, gas-turbine setting, long-range, silicones, adhesion, multiphase stream.

Гусев Юрий Алексеевич – канд. техн. наук, доцент, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина.

Бугаенко Олег Михайлович – канд. техн. наук, старший преподаватель, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина.