

УДК 621.793.7

И.В. ЗОРИК, К.А. ДАНЬКО

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

ГАЗОПЛАМЕННАЯ ГОРЕЛКА ДЛЯ СВЕРХЗВУКОВОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

В статье предложена новая конструкция газопламенной горелки для сверхзвукового напыления покрытий на детали авиационных двигателей (АД). Описываемое оборудование относится к машиностроению и решает задачи увеличения ресурса аналогичных установок для напыления путем устранения сужающихся участков по ходу движения расплавленных частиц напыляемого порошка и напыления порошков тугоплавких материалов. Выполнен сравнительный анализ существующих аналогов и прототипа, указаны их недостатки и предложены пути их устранения. Описана суть изобретения, его составляющие и область применения.

Ключевые слова: газопламенная горелка, генератор высокоскоростного двухфазного потока, сверхзвуковое сопло, сопло Лавалья, камера сгорания, диффузор, коллектор, форсунка, диафрагма, рубашка охлаждения, свеча зажигания.

Введение

В настоящее время развитие техники характеризуется постоянной интенсификацией режимов работы машин, механизмов и отдельных деталей. Следствием этого является рост эксплуатационных температур, давлений, скоростей, т.е. увеличение нагрузок на рабочие поверхности деталей. Особенно остро проблемы надежности и ресурса деталей машин, узлов и изделий в целом стоят в отрасли авиадвигателе- и ракетостроения.

Широко известным является тот факт, что основной причиной отказов в работе машин и механизмов является износ рабочих поверхностей деталей, а не их поломка. Проблема повышения надежности и ресурса технических устройств на современном этапе развития науки и техники решается следующими путями [1]:

- модернизация существующих устройств;
- повышение эксплуатационных характеристик деталей за счет замены конструкционных материалов новыми, с улучшенными химико-физико-механическими свойствами;
- создание принципиально новых конструкций изделий.

Попытка использовать имеющиеся на сегодняшний день материалы в условиях интенсивных режимов работы не увенчалась успехом – не обеспечивались требования высокой надежности. Сложившаяся ситуация сдерживает развитие техники и ставит перед нами следующие задачи [1]:

- разработка новых перспективных конструкционных материалов, новых типов смазок, новых типов защитных покрытий на рабочие поверхности деталей машин;
- проектирование деталей композиционной

структуры, у которых конструкционная основа изготовлена из недорогого, но обеспечивающего номинальную механическую прочность материала, поверх которого нанесен рабочий слой из материала, обеспечивающего заданные функциональные свойства рабочей поверхности.

В современной технологии упрочнения и восстановления деталей машин все большее применение находит метод высокоскоростного газотермического напыления покрытий, что обусловлено высокими технико-экономическими, санитарно-гигиеническими и экологическими параметрами процесса. Способ высокоскоростного газопламенного напыления покрытий основан на использовании термической и кинетической энергии высокотемпературной высокоскоростной струи, истекающей из сопла горелки.

Постановка задачи исследования. Будем рассматривать оборудование для получения двухкомпонентных сверхзвуковых газопламенных струй при восстановлении и повышении технологических характеристик деталей или интенсивно изнашиваемых частей деталей авиационной, ракетной техники и общего машиностроения.

Известна компоновочная схема генератора высокотемпературного двухфазного потока [2; с. 423, рис. 10.3, в], выполненная с разделением участков нагрева и ускорения частиц и управлением параметрами потока расходным воздействием. В подобных устройствах может быть достигнута тепловая релаксация фаз для частиц с дисперсностью в полтора – два раза более высокой, чем в устройствах традиционных схем (с осевой подачей частиц в дозвуковую часть сопла Лавалья или с радиальной подачей частиц в конце сопла) той же мощности (определяемой расходом топливных компонентов) [2; с. 423].

Известно также устройство – сверхзвуковое

сопло газопламенной горелки, взятое за прототип [3], состоящее из внутреннего сопла Лавала, ускоряющего поток до сверхзвуковой скорости, основного канала, через который газовый поток, несущий напыляемый порошок, попадает во внутреннее сопло Лавала, внешнего сопла Лавала, по которому проходит воздушный поток, охлаждающий внутреннее сопло Лавала, концентрирующий рабочий поток и охлаждающий подложку.

Недостатками указанного прототипа являются: введение порошка напыляемого материала в горячий поток продуктов сгорания до сужающегося участка сопла Лавала, следствием чего является неизбежное налипание расплавленных частиц порошка на стенки сопла в критическом сечении, приводящее к изменению его контура и пропускной способности, уменьшению ресурса; невозможность напылять порошки из тугоплавких материалов из-за недостатка времени пребывания порошка в горячем потоке; охлаждение и интенсивное окисление расплавленных частиц порошка потоком охлаждающего воздуха из внешнего сопла Лавала, приводящие к снижению качества напыляемого покрытия.

Проблема продления ресурса технологических установок для высокоскоростного газопламенного напыления является актуальной и за рубежом. Это можно проследить в публикациях [4, 5].

Техническая задача, решаемая предлагаемым устройством, заключается в увеличении ресурса оборудования путем устранения сужающихся участков по ходу движения расплавленных частиц напыляемого порошка, напылении порошков тугоплавких материалов, за счет увеличения времени пребывания порошка в горячем потоке продуктов сгорания, более равномерного подвода тепла в двух узлах и дополнительного подогрева потоком продуктов сгорания, вытекающим из внешнего сопла, что благоприятно сказывается на качестве напыляемого покрытия [6]. Кроме того, данный метод обладает целым рядом преимуществ:

- достигается высокая плотность и низкая пористость покрытий;

- практически любой материал, который плавится, на разрушаясь, при рабочих температурах горелки может быть использован для получения покрытий;

- механические свойства подложки не меняются благодаря сравнительно низкому ее нагреву в процессе напыления;

- низкое давление газов упрощает оборудование и обеспечивает создание простой и работоспособной конструкции;

- снижаются вредные выбросы в окружающую среду за счет применения в качестве топлива МАФ-газа.

Разработка оборудования газопламенной горелки для сверхзвукового напыления покрытий

Сущность предлагаемого устройства состоит в том, что оно снабжено корпусом горелки, внешним соплом, основной камерой сгорания с диффузором, выполненными в ее корпусе, продольными канавками на наружной поверхности корпуса основной камеры сгорания, девятнадцатью радиальными отверстиями для трубок подачи компонента топлива, прокладываемых от коллектора к основной камере сгорания и образующими дополнительный узел подвода тепла к рабочему потоку, установленной на входе в основную камеру сгорания форсункой, имеющей осевое отверстие для подачи кислорода с транспортируемым порошком напыляемого материала и радиальные отверстия для подачи газообразного горючего, установленным снаружи корпуса основной камеры сгорания на ее выступах и установленном пояске корпусом рубашки охлаждения основной камеры сгорания с мундштуком и трубкой отвода охлаждающей жидкости, диафрагмой, размещенной между наружной поверхностью корпуса основной камеры сгорания и полым тарельчатым центральным телом с трубкой подвода охлаждающей жидкости, и мундштуком, кольцом фиксирующим, размещенным в месте соединения корпуса рубашки охлаждения основной камеры сгорания с полым тарельчатым центральным телом, камерой сгорания внешнего сопла с установленной на входе в нее форсункой, установленными в корпусе горелки втулкой со свечей зажигания и тремя трубками подвода компонентов топлива к форсунке камеры сгорания внешнего сопла с мундштуками, камерой смешения, образуемой корпусом горелки и размещенной между выходными сечениями диффузора и внешнего сопла с одной стороны и выходным сечением горелки – с другой, корпусом рубашки охлаждения внешнего сопла с трубками подвода и отвода охлаждающей жидкости с мундштуками, установленным на корпусе горелки так, что между ними образуется кольцевой канал.

В отличие от прототипа для получения напыляемых слоев из более тугоплавких материалов и меньшего окисления расплавленных частиц тепло подводится равномерно в двух узлах подвода вдоль протяженной внутренней КС; из внешнего сопла вытекают продукты сгорания топливо-кислородной смеси; устройство снабжено камерой смешения 35 (рис. 1).

Такая совокупность новых признаков позволяет напылять покрытия из тугоплавких материалов типа WC с высокой адгезией и низкой пористостью, увеличить ресурс установки и обеспечить равно-

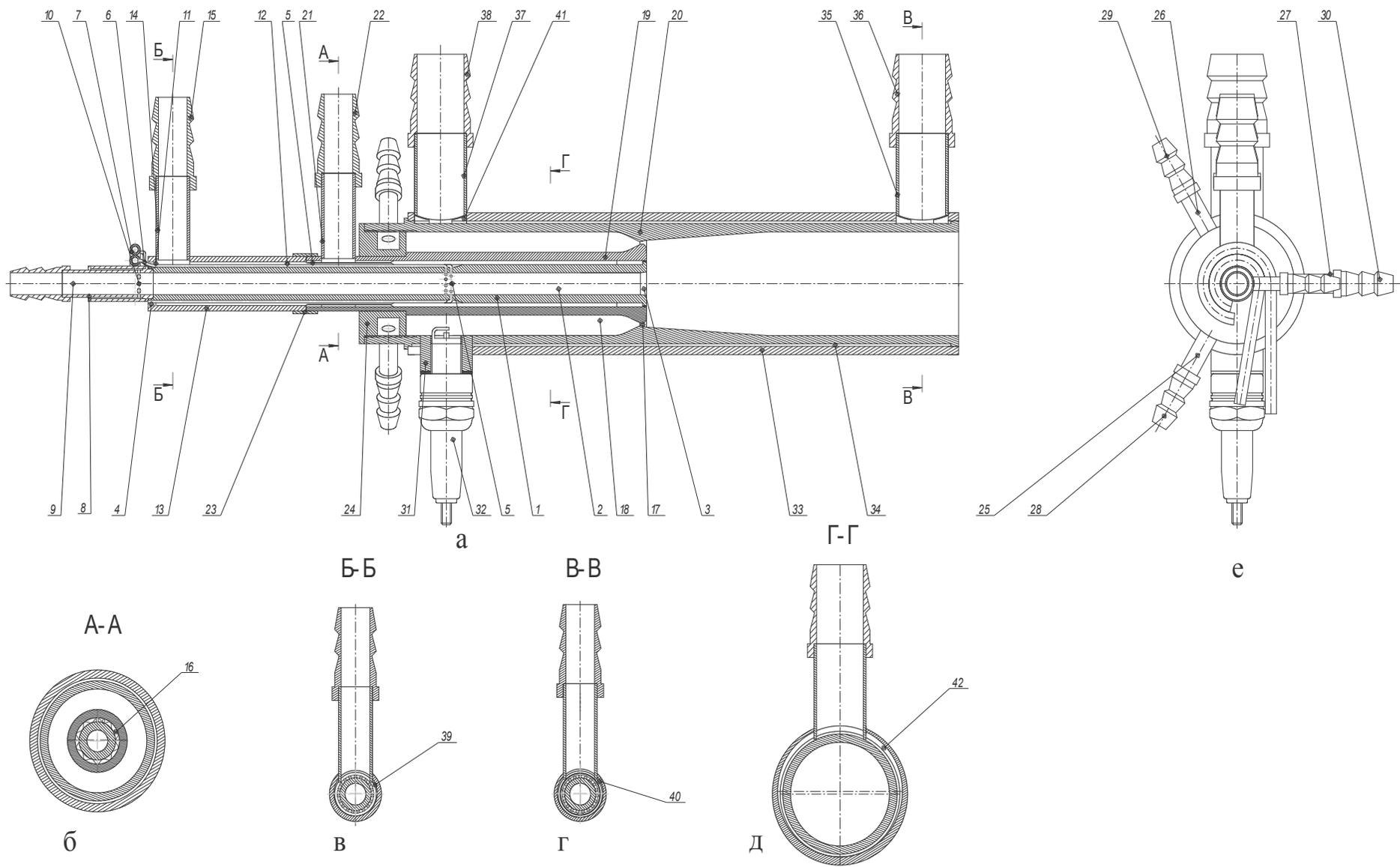


Рис. 1. Компоночная схема газопламенной горелки для сверхзвукового напыления покрытий

мерность распределения порошка в радиальном направлении потока.

Предлагаемое устройство газопламенной горелки для сверхзвукового напыления покрытий иллюстрируется чертежом, где показан разрез горелки, вид и сечения (рис. 1, а – е).

Горелка состоит из следующих основных элементов: корпуса основной камеры сгорания 1, который формирует непосредственно основную камеру сгорания 2 с диффузором 3; снаружи на корпусе основной камеры сгорания 1 выполнены продольные канавки 4, причем каждая из них заканчивается радиальным отверстием 5 для трубки подачи компонента топлива 6 прокладываемым по продольным канавкам 4 от коллектора 7, через радиальные отверстия 5, к основной камере сгорания 2. Таким образом, система отверстий для трубок подачи компонентов топлива 5, сами трубки подачи компонентов топлива 6 и коллектор 7 формируют дополнительный узел подвода тепла к рабочему потоку. Основной узел подвода тепла к рабочему потоку расположен на входе в основную камеру сгорания 2 и представлен форсункой основной камеры сгорания 8, имеющей осевое отверстие 9 для подачи кислорода и транспортируемого ним порошка напыляемого материала и радиальные отверстия 10 для подачи газообразного горючего. Кроме того, снаружи на корпусе основной камеры сгорания 1 выполнены установочный поясик 11 и выступы 12, по которым устанавливается корпус рубашки охлаждения основной камеры сгорания 13 с трубкой отвода охлаждающей жидкости 14 и мундштуком 15. Для движения охлаждающей жидкости в заданном направлении, при охлаждении корпуса внутренней камеры сгорания 1 предусмотрена диафрагма 16 (рис. 1, б). Внешнее сопло 17 и его камера сгорания 18 формируются полым тарельчатым центральным телом 19 и корпусом горелки 20. Полое тарельчатое центральное тело 19 своей внутренней поверхностью, в сочетании с диафрагмой 16 и наружной поверхностью корпуса основной камеры сгорания 1 формирует кольцевой канал, по которому движется охлаждающая жидкость, подаваемая по трубке подвода охлаждающей жидкости 21 с мундштуком 22. Для фиксации полого тарельчатого центрального тела 19 относительно корпуса рубашки охлаждения внутренней камеры сгорания 13 служит фиксирующее кольцо 23.

Подача компонентов топлива в камеру сгорания внешнего сопла 17 осуществляется с помощью форсунки 24. Компоненты топлива в форсунку 24 подается через трубки подвода компонентов 25-27 с мундштуками 29-30. Корпус горелки 20, на котором закреплена втулка 31 со свечей зажигания 32, также формирует камеру смешения 32. Для защиты корпуса горелки 20 от высоких температур предусмотрена система охлаждения: корпус рубашки охлаждения

внешнего сопла 33 установлен по отношению к корпусу горелки 20 таким образом, что образуется кольцевой канал 34, по которому течет охлаждающая жидкость, поступающая через трубку подвода охлаждающей жидкости 35 с мундштуком 36 и отводимая по трубке отвода охлаждающей жидкости 37 с мундштуком 38. В местах подвода и отвода охлаждающей жидкости предусмотрены кольцевые выточки (39 – 42) (рис. 1, а, в, г, д).

Горелка работает следующим образом: кислород и транспортируемый им порошок напыляемого материала поступают по каналу 9; через отверстия 10 к потоку кислорода с порошком подводится газообразное топливо и начинается процесс горения. Порошок с продуктами сгорания (рабочий поток) продолжает двигаться вдоль основной камеры сгорания 2. На расстоянии 3/5 длины основной камеры сгорания от ее начала расположены отверстия 5, через которые по трубкам 6 поступает газообразное топливо, и горение продолжается. В диффузоре 3 рабочий поток ускоряется до скорости порядка 1500 м/с. Ускорение рабочего потока до таких скоростей способствует получению покрытий с высокой адгезией и низкой пористостью. Компоненты топлива подаются в форсунку внешнего сопла 24 через трубки подвода 25-27. Процесс горения происходит в камере сгорания внешнего сопла 18. Поджиг топлива осуществляется свечей зажигания 32. На выходе из внешнего сопла продукты сгорания будут иметь температуру порядка 3500 К и скорость 2000 м/с. Образовавшийся кольцевой поток продуктов сгорания из внешнего сопла концентрирует рабочий поток, предотвращая вынос и налипание расплавленных частиц порошка напыляемого материала на стенки корпуса горелки 20, дополнительно подогревает их и ускоряет. Охлаждение наружного корпуса внешнего сопла осуществляется жидкостью, поступающей по трубке подвода 35, движущейся по кольцевому каналу 34 в направлении, противоположном направлению течения рабочего потока, и вытекающей по трубке отвода охлаждающей жидкости 37. Кольцевые выточки (39 – 42) в местах подвода и отвода охлаждающей жидкости способствуют выравниванию полей скоростей ее течения вдоль кольцевого канала. Форма выточек показана на сечениях (рис. 1, в – д).

По данному устройству есть решение про выдачу патента Украины на изобретение от 21 января 2009 г.

Примером применения данной двухкамерной сверхзвуковой горелки может служить любой технологический процесс газопламенного напыления тугоплавких материалов. Получаемые покрытия при помощи данной горелки отличаются высокой адгезией, низкой пористостью и прецизионной локальностью наносимого покрытия с наименьшими экономическими затратами.

Заключение

Предлагаемое оборудование относится к машиностроению и может быть применено для получения двухкомпонентных сверхзвуковых газопламенных струй при восстановлении и повышении технологических характеристик деталей или интенсивно изнашиваемых частей деталей авиационной, ракетной техники и общего машиностроения.

Рассмотренное устройство обеспечивает технический результат, заключающийся в повышении качества наносимых газотермических покрытий из тугоплавких материалов за счет увеличения скорости рабочего потока, степени тепловой релаксации частиц порошка и высокой локализации процесса напыления, и может быть изготовлено с помощью известных в технике средств. Следовательно, предлагаемое устройство обладает промышленной применимостью.

Литература

1. Мчедлов С.Г. Газотермическое покрытие в технологии упрочнения и восстановления деталей машин / С.Г. Мчедлов // *Технология машиностроения*. – 2008. – №6. – С. 35-46.

2. Тимошенко В.И. Газовая динамика высокотемпературных технологических процессов / В.И. Тимошенко. – Днепропетровск: Институт технической механики НАНУ и НКАУ, 2003. – 456 с.

3. Пат. 2281812 Российская Федерация, МПК В05В 7/20, С23С 4/20. Сверхзвуковое сопло газопламенной горелки / Гончаров В.С., Домащенко Ю.В., Гончаров М.В.; Заявитель и патентообладатель Тольяттинский государственный университет. – № 2004121522/02; заявл. 13.07.04; опубл. 20.08.06, Бюл. № 23. – 5 с.

4. *Handbook of deposition technologies for films and coatings. Science, Technology and Applications / edited by Rointan F. Bunshah. – 2nd ed. – Los Angeles, California, University of California: Noyes Publications, 1994. – 888 p.*

5. Pawlowski Lech. *The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings: Second Edition / Lech Pawlowski – Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2008. – 626 p.*

6. Заявка а200809654 Украина, МПК В05В7/00. Газополуменевый пальник для надзвукового напыления покрыттів / Долматов А.И., Зорик И.В., Данько К.А. (Украина); заявитель Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского „ХАИ“; заявл. 23.07.08. – 11 с.

Поступила в редакцию 1.02.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. каф. «Технология производства двигателей летательных аппаратов» В.К. Борисевич, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ГАЗОПОЛУМЕНЕВИЙ ПАЛЬНИК ДЛЯ НАДЗВУКОВОГО НАПИЛЕННЯ ПОКРИТТІВ

І.В. Зорик, К.А. Данько

У статті запропонована нова конструкція газополуменевого пальника для надзвукового напылення покриттів на деталі авіаційних двигунів (АД). Описане обладнання належить до машинобудування і вирішує задачі підвищення ресурсу аналогічних установок для напылення шляхом усунення ділянок, що звужуються по напрямку руху розтоплених частинок порошку і напылення порошків тугоплавких матеріалів. Було виконано порівняльний аналіз існуючих аналогів та прототипу, відмічено їх недоліки і запропоновані шляхи їх усунення. Описана суть винаходу, його складові та область застосування.

Ключові слова: газополуменевий пальник, генератор високошвидкісного двофазного потоку, надзвукове сопло, сопло Лавалля, камера згоряння, дифузор, колектор, форсунка, діафрагма, рубашка охолодження, свічка запалення.

GAS-FLAME BURNER FOR SUPERSONIC DEPOSITION OF COATINGS

I.V. Zorik, C.A. Danko

A new design of gun for HVOF deposition of coatings on the parts of aviation engines (AE) is proposed in the article. The described equipment relates to mechanical engineering and helps to increase the recourse of the equipment for deposition of the metal powders by means of removal of the constrictors downstream the moving melted particles of sprayed material and spraying of powder of refractory materials. Comparative analysis of existing analogs and prototype was made. Their shortcomings are shown and methods of their elimination are suggested. The main point of the invention is described, as well as its components and field of application.

Key words: gas-flame gun, generator of high speed two phase flow, supersonic nozzle, Laval nozzle, combustion chamber, diffuser, collector, sprayer, diaphragm, water cooling jacket, spark plug.

Зорик Игорь Владимирович – ст. преподаватель, каф. «Технология производства двигателей летательных аппаратов», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

Данько Константин Анатольевич – мл. научный сотрудник, каф. «Технология производства двигателей летательных аппаратов», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.