

УДК 621.396.6; 539.538; 620.179.11

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИМПУЛЬСНЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ВЫСОКОСКОРОСТНЫМИ ПОТОКАМИ ЧАСТИЦ

© 2012 В.В. Калашников, И.Д. Ибатуллин, С.Ю. Ганигин, А.Ю. Мурзин,
М.В. Ненашев, А.А. Чеботаев

Самарский государственный технический университет

Поступила в редакцию 29.03.2012

В работе представлены результаты разработки экспериментальной установки на базе порохового метательного устройства с возможностью измерения давления продуктов горения пороха, скорости потока частиц и его геометрических параметров. Разработанная установка используется для проведения исследований по модификации поверхности конструкционных материалов высокоскоростными потоками микро- и наноразмерных частиц металлов и керамик.

Ключевые слова: *импульсные устройства, поверхность детали, модификация, высокоскоростной поток частиц*

Одной из актуальных задач машиностроения является совершенствование технологий нанесения металлических и керамических покрытий. Улучшение функциональных свойств наносимых покрытий может быть достигнуто созданием промежуточных слоев, имеющих требуемый набор физико-химических свойств. В частности, такими свойствами могут быть твердость, коэффициент линейного теплового расширения, электрохимический потенциал, значение электрической проводимости и т.д. Каждое из этих свойств выбирается для достижения тех или иных показателей получаемых покрытий. Например, для повышения адгезии твердых порошковых покрытий (керамик,

металлокерамик и металлов) с твердыми подложками возникает необходимость создания промежуточного слоя с повышенным значением связи с поверхностью. Одним из наиболее эффективных способов нанесения порошковых покрытий является метод детонационно-газового напыления. На рис. 1 представлены фотографии микрошлифов покрытий, полученных детонационно-газовым методом с использованием порошковых материалов оксида алюминия и карбида вольфрама. На рисунке выделены переходные зоны покрытие – подложка с дефектами отслоения, вызывающими снижение адгезии.

Калашников Владимир Васильевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология твердых химических веществ»

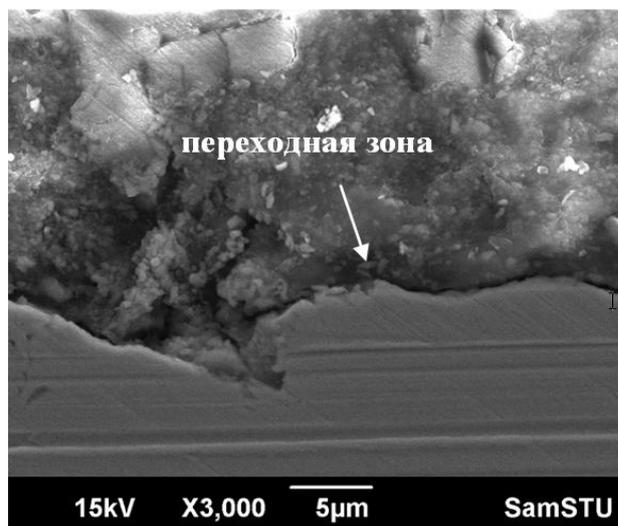
Ибатуллин Ильдар Дугласович, доктор технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения». E-mail: tribo@rambler.ru

Ганигин Сергей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология твердых химических веществ». E-mail: grail@rambler.ru

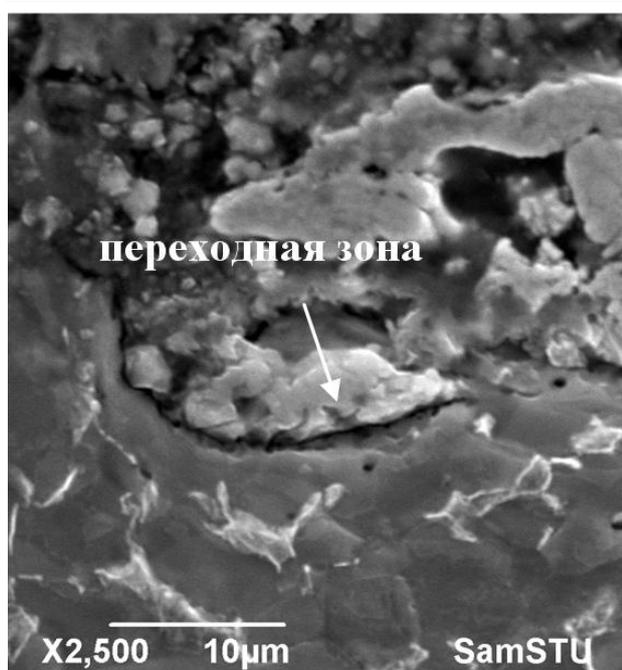
Мурзин Андрей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология твердых химических веществ». E-mail: ttxb@inbox.ru

Ненашев Максим Владимирович, доктор технических наук, проректор по научной работе. E-mail: max71@mail.ru

Чеботаев Александр Анатольевич, аспирант. E-mail: noxter@list.ru



a)



б)

Рис. 1. Микрошлифы, иллюстрирующие дефекты связи детонационно-газовых покрытий с подложкой: а) покрытие оксида алюминия (нетравленный шлиф); б) покрытие карбида вольфрама (протравленный шлиф)

Для повышения адгезии покрытий целесообразно создавать промежуточный слой, состоящий из частиц, адгезия которых с подложкой обусловлена их внедрением в поверхность материала не менее, чем на диаметр частицы.

Для выполнения этого условия при нанесении покрытий из твердых порошков со средним размером частиц 50 мкм необходимо обеспечивать метание частиц со скоростями, превышающими 1000 м/с. Достижение таких скоростей с помощью детонационно-газовых методов напыления затруднительно. С этой целью предлагается использовать метание частиц пороховым зарядом. Для этого разработана экспериментальная установка на базе баллистического метательного устройства с возможностью измерения давления продуктов горения, скорости потока частиц и его геометрических параметров.

При работе с патронами, снаряженными баллиститными порохами, обеспечивающими наивысшую скорость метаемого порошка, в стволе создаются напряжения, способные значительно сократить ресурс стандартных стволов гладкоствольного оружия. Таким образом, возникает задача разработки конструкции порохового метательного устройства, способного выдерживать расчетные перегрузки. Конструкция такого устройства показана на рис. 2. Конструкция баллистического ствола разборная и обеспечивает возможность увеличения длины добавлением дополнительных ствольных секций. Длина ствола, состоящего из трех основных секций, составляет 700 мм (рис. 3).

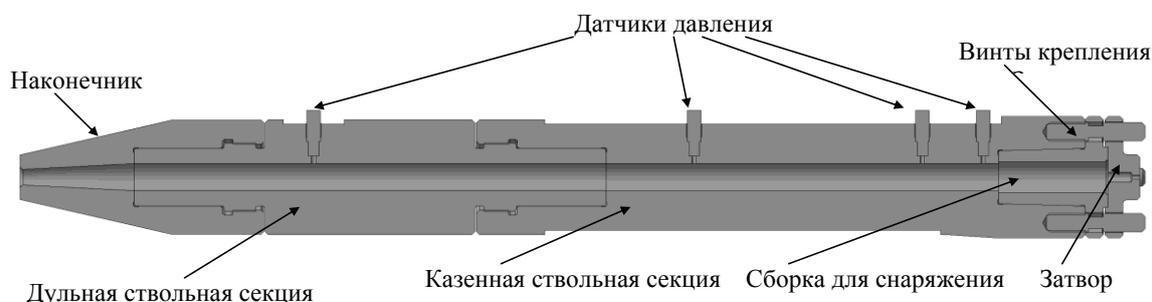


Рис. 2. Конструкция метательного устройства для разгона порошка с сужающимся наконечником



Рис. 3. Фото собранного баллистического устройства

Методика использования нитроглицериновых баллиститных порохов в качестве метательного состава отрабатывается на специальной

сборке, которая вставляется в баллистический ствол. Использование нитроглицериновых порохов марок РСИ60 с массовым содержанием

нитроглицерина (27%) накладывает жесткие требования, предъявляемые к конструкции используемой сборки и на сам баллистический ствол. Сборка для испытаний собирается следующим образом (рис. 4). В баллистический ствол вставляется электровоспламенитель, таким образом, чтобы спираль, покрытая воспламенительным составом, выступала из торца крышки на (4-6) мм. Затем на сборку в стволе одевается крышка, фиксирующаяся специальными винтами.

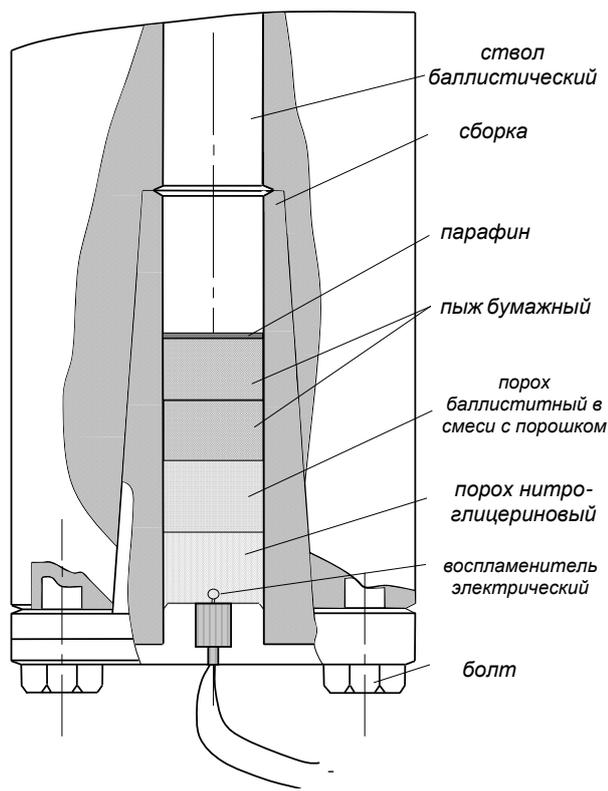


Рис. 4. Сборка для нанесения наноструктурированных покрытий с использованием нитроглицериновых порохов

Конструкция баллистического изделия позволяет испытывать как пироксилиновые, так и баллистические пороха с навесками до 6 грамм. В приготовленную таким образом сборку помещается навеска пороха, уплотняется пуансоном, затем насыпается смесь пороха с различным процентным содержанием метаемого порошка до 40 грамм. Затем пороховой заряд закрывается двумя бумажными пыжами и герметизируется парафиновой смесью. Иницирование системы производится (воспламеняется) электрическим способом в бронекabinе. Изучение процесса напыления при разных скоростях движения порошка должно обеспечиваться деталями-наконечниками метательного устройства, конструкция которых позволяет создавать потоки частиц с разным раскрытием.

Эксперимент осуществлялся метанием порошка карбида вольфрама со средним размером частиц 50 мкм по поверхности стального образца (Ст.45). Далее изготавливался микрошлиф, и определялась глубина внедрения частиц в поверхность образца. На рис. 5 приведены фотографии микрошлифа с внедренными в поверхность частицами, полученные на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6390A.

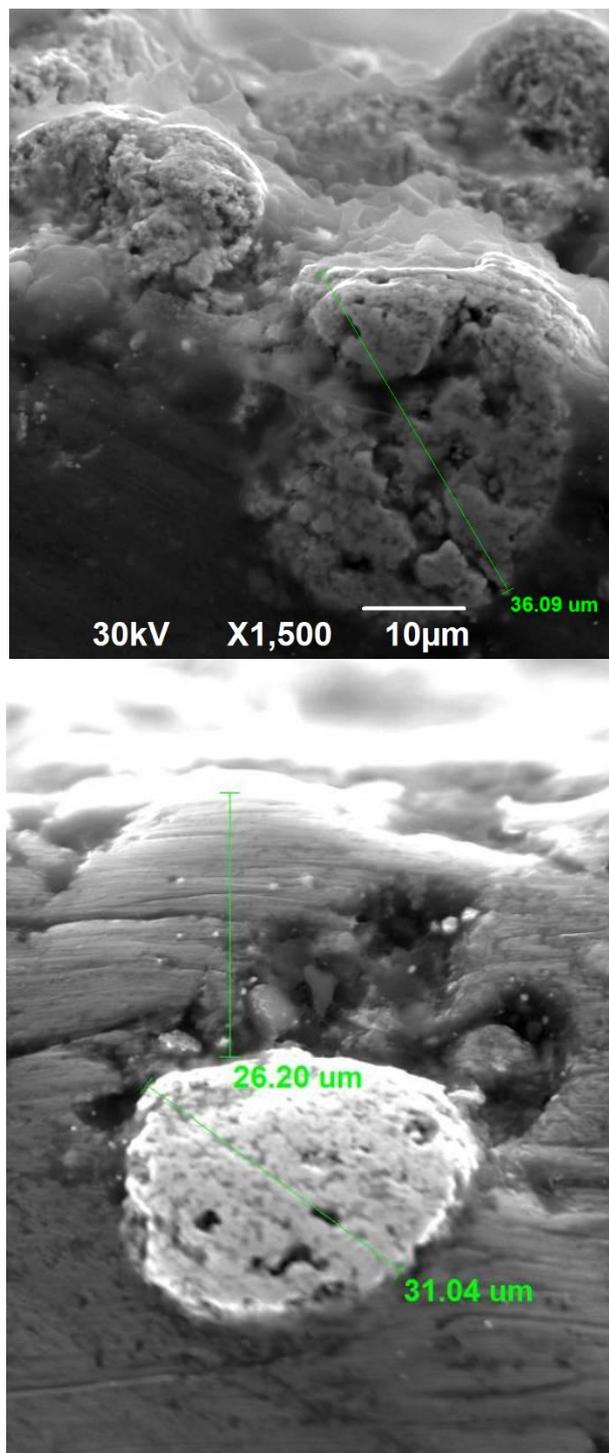


Рис. 5. Фотографии микрошлифов с внедрения частиц карбида вольфрама в поверхность образца

Для сопоставления полученных экспериментальных данных внедрения метаемых частиц с теоретическими моделями были выполнены расчеты глубины проникания в стальную подложку в зависимости от скорости потока. При этом использовались простейшие модели на основе законов динамики и подход, основанный на энергетическом балансе энергии частицы и энергии активации, необходимой для разрушения и вытеснения объема материала, определяемого глубиной внедрения частицы. В первом случае глубина внедрения определялась в соответствии с соотношением:

$$x_{\max} = \frac{3}{4} \cdot \frac{v_0^2 \cdot m_0}{H_{VD} \cdot S_0}, \quad (1)$$

где S_0 – эффективная площадь контакта частицы с материалом, H_{VD} – твердость материала, m_0 – масса частицы, v_0 – скорость частицы.

Во втором случае пользовались соотношением, полученным из энергетического баланса:

$$h_{np} = \frac{\left(\frac{m_0 \cdot v^2}{2} + m_0 \cdot c \cdot \Delta T \right) \cdot V_M}{U_m \cdot \pi \cdot r_0^2}, \quad (2)$$

где r_0 – диаметр частицы, m_0 – масса частицы, v_0 – скорость частицы, c – удельная теплоемкость, V_M – молярный объем материала подложки, U_m – молярная энергия активации, ΔT – приращение температуры.

Молярная энергия активации материала образцов определялась на основе методик и с использованием оборудования, описанных в [3]. При этом полученное значение молярной энергии активации для используемых стальных образцов составила $U_m = 59024$ Дж/моль. На рис. 6 приведены графики зависимости глубины проникания твердых частиц диаметром 50 и 100 мкм в стальную поверхность образца. Область, в которую попадают глубины внедрения, определенные по микрошлифам, выделена штриховкой. Таким образом, установлено, что для создания слоя, состоящего из частиц, внедренных в поверхность на глубину до 50 мкм, могут быть использованы пороховые метательные устройства. При этом, используя разработанную конструкцию, обеспечивается разгон метаемых частиц до 1200 м/с. В некоторых случаях предлагаемая технология может быть использована, как предварительный этап подготовки поверхности перед детонационным напылением и электрохимическим осаждением покрытий.

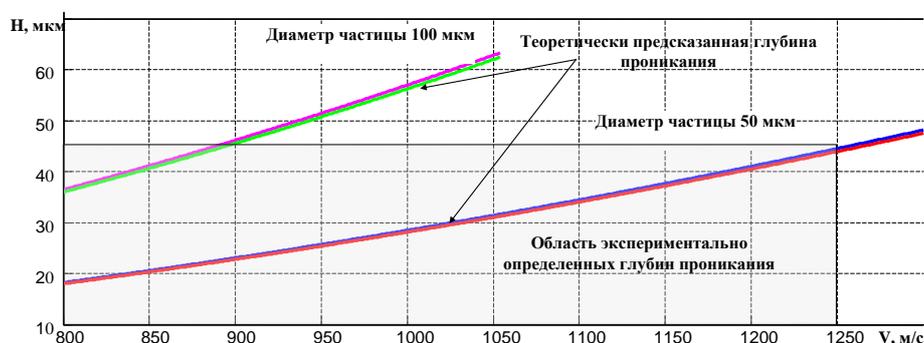


Рис. 6. Графики зависимости глубины проникания твердых сферических частиц сплава ВК12 в стальную поверхность от начальной скорости частиц (800-1300) м/с

Выводы: разработана экспериментальная установка на базе стандартного баллистического метательного устройства с возможностью измерения давления продуктов горения, скорости потока частиц и его геометрических параметров. Экспериментальная установка, позволяет достигать скоростей микрочастиц до 1250 м/с, при этом обеспечивает внедрение метаемых частиц в стальную поверхность на глубины до 50 мкм.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, в рамках выполнения Государственного контракта № 16.518.11.7022.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Ненашев, М.В.* Опыт исследования и применения технологии нанесения детонационных покрытий / *М.В. Ненашев, В.В. Калашиников, И.Д. Ибатуллин* и др. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12, №1. С. 569-575.
2. *Ненашев, М.В.* Технология и свойства наноструктурированных детонационных покрытий / *М.В. Ненашев, Д.А. Деморецкий, И.Д. Ибатуллин* и др. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13, №1(2). С. 390-394.
3. *Ибатуллин, И.Д.* Кинетика усталостной повреждаемости и разрушения поверхностных слоев. Монография / *И.Д. Ибатуллин* – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2008. 387 с.

**DEVELOPMENT AND RESEARCH OF EFFECTIVENESS OF
PULSE DEVICES ON THE BASIS OF POWER SATURATED
MATERIALS FOR MODIFICATION THE SURFACE OF
MACHINE DETAILS BY HIGH-SPEED FLOW PARTICLES**

© 2012 V.V. Kalashnikov, I.D. Ibatullin, S.Yu. Ganigin, A.Yu. Murzin,
M.V. Nenashev, A.A. Chebotayev

Samara State Technical University

In work results of development the experimental unit on the basis of powder throwing device with possibility of measurement the pressure of gunpowder combustion gases, a flow rate of particles and its geometrical parameters are presented. The developed unit is used for carrying out researches on modification the surface of constructional materials by high-speed flows of micro and nanodimensional particles of metals and ceramics.

Key words: *pulse devices, detail surface, modification, high-speed flow particles*

*Vladimir Kalashnikov, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department "Technology of Firm Chemical Substances"*

*Ildar Ibatullin, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
at the Department "Technology of Mechanical Engineering".*

E-mail: tribo@rambler.ru

*Sergey Ganigin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
at the Department "Technology of Firm Chemical Substances".*

E-mail: grail@rambler.ru

*Andrey Murzin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
at the Department "Technology of Firm Chemical Substances".*

E-mail: ttxb@inbox.ru

*Maxim Nenashev, Doctor of Technical Sciences, Deputy Rector on
Scientific Work. E-mail: max71@mail.ru*

Alexander Chebotaev, Post-graduate Student. E-mail: noxter@list.ru