

DOI: 10.58168/MOTOR2024\_70-81

УДК 621.793.74

**Кадырметов А.М.**

доктор технических наук,  
профессор кафедры машиностроительных  
технологий ФГБОУ ВО «Воронежский  
государственный лесотехнический  
университет имени Г.Ф. Морозова»,  
г. Воронеж, РФ

**Мандрыкин И.А.**

аспирант ФГБОУ ВО  
«Воронежский государственный  
лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова»,  
г. Воронеж, РФ

**Попов Д.А.**

кандидат технических наук, доцент  
кафедры машиностроительных  
технологий ФГБОУ ВО «Воронежский  
государственный лесотехнический  
университет имени Г.Ф. Морозова»,  
г. Воронеж, РФ

**Васильев В.В.**

магистр кафедры машиностроительных  
технологий ФГБОУ ВО «Воронежский  
государственный лесотехнический  
университет имени Г.Ф. Морозова»,  
г. Воронеж, РФ

**Рубцов А.А.**

магистр кафедры машиностроительных  
технологий ФГБОУ ВО «Воронежский  
государственный лесотехнический  
университет имени Г.Ф. Морозова»,  
г. Воронеж, РФ

**Хакхелев Д.В.**

магистр кафедры машиностроительных  
технологий ФГБОУ ВО «Воронежский  
государственный лесотехнический  
университет имени Г.Ф. Морозова»,  
г. Воронеж, РФ

**Kadyrmetov A.M.**

dr. sci. tech. prof., prof. of department of  
mechanical engineering technologies Federal  
State Budget Educational Institution of  
Higher Education "Voronezh State  
University of Forestry and Technologies  
named after G.F. Morozov", Voronezh, RF

**Mandrykin I.A.**

postgraduate student of the Federal State  
Budget Educational Institution of Higher  
Education "Voronezh State University of  
Forestry and Technologies named after  
G.F. Morozov", Voronezh, RF

**Popov D.A.**

Ph. D., associate professor of department of  
mechanical engineering technologies of the  
Federal State Budget Educational Institution of  
Higher Education "Voronezh State University  
of Forestry and Technologies named after  
G.F. Morozov", Voronezh, RF

**Vasiliev V.V.**

magister, department of mechanical engineering  
technologies, Federal State Budget Educational  
Institution of Higher Education "Voronezh State  
University of Forestry and Technologies named  
after G.F. Morozov", Voronezh, RF

**Rubtsov A.A.**

magister, department of mechanical engineering  
technologies, Federal State Budget Educational  
Institution of Higher Education "Voronezh State  
University of Forestry and Technologies named  
after G.F. Morozov", Voronezh, RF

**Khakhelev D.V.**

magister, department of mechanical engineering  
technologies, Federal State Budget Educational  
Institution of Higher Education "Voronezh State  
University of Forestry and Technologies named  
after G.F. Morozov", Voronezh, RF

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ ПЛАЗМЕННОГО НАНЕСЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ДЕТАЛЕЙ ДВС

## TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR PLASMA APPLICATION AND STRENGTHENING OF COATINGS OF ICE PARTS

**Аннотация:** Совершенство процессов плазменного напыления, наплавки, упрочнения покрытий при изготовлении и восстановлении изношенных деталей ДВС в значительной степени определяются их технологическим оснащением. Представлены средства технологи-

ческого оснащения, в том числе, разработанный авторами, имеющие преимущества в сравнении с традиционными вариантами.

**Ключевые слова:** плазменные покрытия, нанесение, оснащение, восстановление, детали, вал, гильза цилиндра, клапан.

**Abstract:** The perfection of the processes of plasma spraying, surfacing, and hardening of coatings in the manufacture and restoration of worn-out internal combustion engine parts is largely determined by their technological equipment. Technological equipment is presented, including that developed by the authors, which have advantages over traditional options.

**Keywords:** plasma coatings, application, equipment, restoration, parts, shaft, cylinder liner, valve.

### **Состояние и актуальность плазменного нанесения и упрочнения покрытий на деталях машин**

Обеспечение надежности парка машин в эксплуатации реализуется проведением технического обслуживания и ремонтов, определяющими показатели ремонтпригодности и зависящими от соотношения использования новых и восстанавливаемых деталей. Неоптимальное количество запасных частей приводит к завышенным эксплуатационным расходам. Данная проблема усиливается в настоящее время возрастающей вероятностью роста дефицита на некоторые компоненты. Решение проблемы состоит в использовании восстановления для деталей, пригодных для этого, с количественной долей около 75 %, а для этого – в организации ремонтных подразделений по их восстановлению. Пригодными для восстановления являются детали с малым износом не более 1 мм, что не влияет на уменьшение прочности детали, но позволяет повысить износостойкость при заметно меньших затратах по сравнению с новыми деталями [1].

Процессы плазменного напыления, наплавки или их совмещения позволяют эффективно решить эту задачу с возможностью повышения износостойкости в 1,2-2 раза в сравнении с новыми деталями при сопоставимой стоимости [2-4]. Использование плазменного метода восстановления деталей является наиболее универсальным по удобству и широте термических и газодинамических параметров процессов для использования как для легкоплавких, так и для тугоплавких металлов и сплавов. Его эффективность актуальна для деталей ДВС, включая валы (коленчатые, распределительные), клапаны, гильзы цилиндров и др. Совершенствование самих процессов плазменного нанесения и упрочнения покрытий их динамизацией позволяет, в свою очередь, заметно повысить эффективность восстановления деталей [5, 6]. При повышенных эксплуатационных нагрузках и требованиях к надежности изделий нанесение покрытий может быть обеспечено с помощью совмещения с процессами вибро-, термо- и электромеханической обработки [7-13].

### **Технологическое обеспечение плазменного нанесения и упрочнения покрытий на детали ДВС**

Технологическое обеспечение технологии плазменного напыления-наплавки покрытий закладывается в конструкторско-технологических решениях для конкретной номенклатуры деталей и производственных условий с целью их технико-экономической оптимизации.

Критерии оптимизации включают свойства покрытий и затраты на получение покрытий [14]. Для достижения этой цели необходима разработка перспективных конструкторско-технологических решений на основе проведения научно-исследовательских и опытно конструкторских и технологических работ [15]. Задел научно-технической разработки технологии должен включать проведение исследований, оценку реализуемости технологий и технологическую подготовку проектирования технологий. Результатом этого этапа является оснащение оборудованием и оснасткой для реализации разработанных технологий.

### **Технологическое оснащение плазменного нанесения и упрочнения покрытий**

Оснащение оборудованием плазменного нанесения покрытий включает установки напыления и наплавки (табл. 1), электромеханической обработки, блок модуляции параметров (АС № 1774828 СССР, патенты РФ № 2480533, № 2211256). Специальное технологическое оснащение предназначено для обработки коленчатых, распределительных валов, цилиндров ДВС, клапанов ДВС [5, 9, 11]. Преимущества такого оснащения включают получение высококачественных покрытий, сокращение подготовительно-заключительного времени операций, универсальность и регулируемость. Актуальность такого оснащения важна, прежде всего, для мелкосерийного и единичного производства. Оснащение позволяет использовать гибридный процесс напыления-наплавки для нанесения покрытий на различные детали, в том числе, на клапаны, гильзы цилиндров без их демонтажа с помощью вращающегося плазмотрона. Универсальность приспособлений состоит в их пригодности для нанесения покрытий на ступицы колёс, чашки дифференциалов, места для подшипников ведущей шестерни главной передачи и ведущего вала коробки передач, подверженные износу поверхности заднего моста, тормозных цилиндров (дисков) и др.

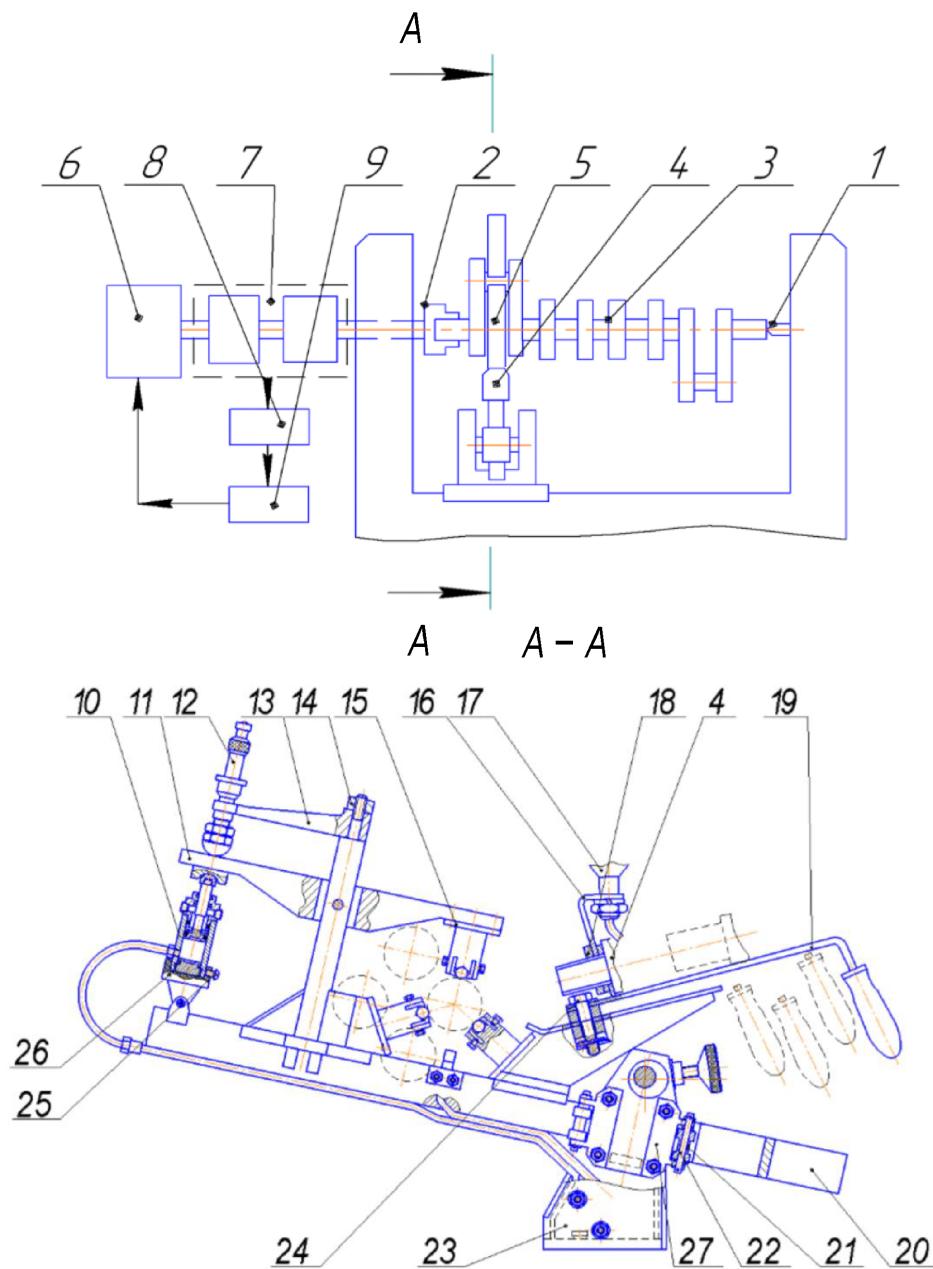
В случае необходимости плазменное напыление-наплавка может быть совмещено с упрочнением покрытия как для новых, так и для восстанавливаемых деталей. Такая технология соответствует концепции эффективного ремонта, поскольку послеремонтная наработка деталей с нанесенным покрытием превышает доремонтную на 20-100 %. Разработанное специальное технологическое оборудование позволяет обеспечить требуемую надёжность и долговечность отремонтированных изделий.

В мелкосерийном производстве для восстановления шатунных шеек традиционно используются центросместители. Универсальное приспособление кривошипно-шатунного типа с набором роликов позволяет уменьшить время на подготовку к операции нанесения и на заключительные работы после неё за счет возможности однократного установка для всех шатунных и промежуточных коренных шеек (рис. 1). Одновременно оно позволяет осуществлять электромеханическую обработку и обкатку роликами с ультразвуковой обработкой при необходимости (патенты РФ № 2085301, № 2447951, № 129021) [16].

Таблица 1 – Техническая характеристика установки плазменного нанесения и упрочнения покрытий

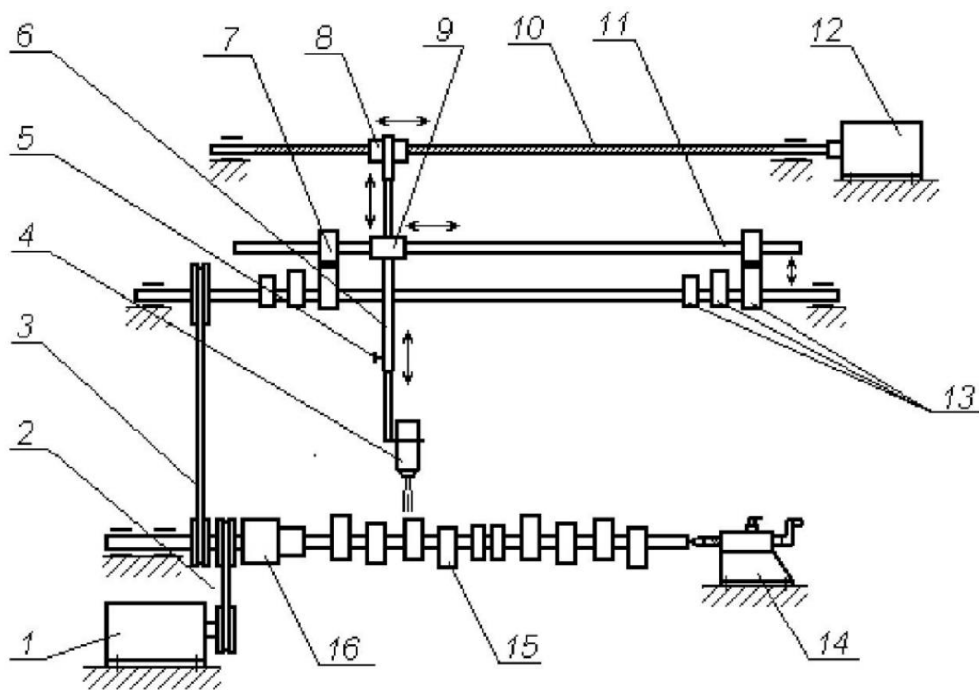
№ п/п	Параметр	Значение параметра
1	Мощность, кВт: косвенной дуги прямой дуги микроплазмотрона в блоке электромеханической обработки электромеханического блока (ЭМБ)	до 50 0,1 ... 5 5 5
2	Напряжение электромеханической обработки (ЭМО), В	2 ... 5
3	Сила тока ЭМО, А	500 ... 3000
4	Амплитуды мощностей импульсов плазменного напыления, кВт	0,5 ... 600
5	Длительность импульсов плазменного напыления, мкс	5 ... 1000
6	Частота модуляции импульсов плазменного напыления, Гц	10 ... 7000
7	Емкость конденсаторной батареи модулятора при $U_{раб}$ 5 кВ, мкф	до 160
8	Производительность напыления металлических порошков, кг/ч: плазмотроном микроплазмотроном	до 8 до 1
9	Плазмообразующие газы	воздух, азот, добавки пропана
10	Расход газа, л/мин: плазмообразующего транспортирующего суммарный (аргон) в ЭМБ	до 120 до 10 до 20
11	Скорость вращения патрона в ЭМБ, с <sup>-1</sup>	0,15 ... 0,4
12	Подача плазмотрона в ЭМБ, мм/об	0,1 ... 4
13	Расход охлаждающей СОЖ, воды, л/мин	0,5 ... 4,5

Плазменные покрытия на кулачки распределительного вала наносят с помощью копирных устройств (рис. 2) [17]. При их использовании одинаковое расстояние при напылении от плазмотрона до поверхности напыляемого кулачка реализуют за счет использования технологического копира в виде двух кулачков такой же формы как и напыляемый кулачок, по поверхностям которых прокатывались технологические втулки 7 с общей осью-штангой 11, к которой, в свою очередь, через втулку 9 присоединен шток 6 плазмотрона. Однако такие устройства не позволяют регулировать угол напыления относительно напыляемой поверхности, что не позволяет обеспечить равномерность покрытия и одинаковость его структуры на рабочей поверхности кулачка. Применение дополнительного приспособления с регулируемым угловым перемещателем плазмотрона позволит решить эту проблему.



- 1, 2 – центры; 3 – напыляемый коленчатый вал; 4 – плазмотрон; 5 – устройство перемещения плазмотрона; 6 – привод вращения коленчатого вала; 7 – блок измерения; 8 – блок регулировки; 9 – блок управления; 10 – гидроцилиндр; 11 – поджимающий рычаг; 12 – микрометрический регулирующий механизм; 13 – стойка ползуна; 14 – прижимная гайка; 15 – прижимной ролик; 16 – кронштейн крепления порошкового питателя; 17 – порошковый питатель; 18 – гайка; 19 – рукоятка; 20 – ползун; 21, 22 – направляющий ролик; 23 – стойка; 24 – болт; 25 – винт крепления; 26 – пята

Рисунок 1 – Схема устройства для напыления и обкатки покрытия шатунных шеек коленчатого вала



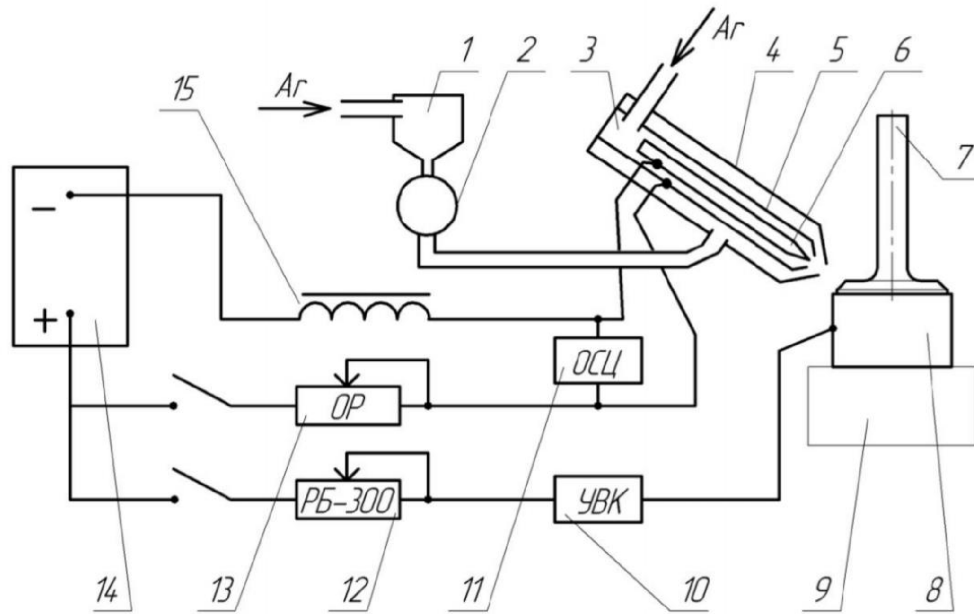
1, 12 – электродвигатели; 2 – ременная передача; 3 – цепная передача; 4 – плазмотрон; 5 – зажим регулирования дистанции напыления; 6 – шток крепления плазмотрона; 7 – втулка; 8 – винтовая пара горизонтального перемещения плазмотрона; 9 – втулка крепления штока с плазмотроном; 10 – винт горизонтальной передачи; 11 – штанга вертикального перемещения; 13 – кулачки-копиры разных размеров; 14 – задняя бабка центровки распределительного вала; 15 – распределительный вал; 16 – патрон

Рисунок 2 – Схема устройства копирного типа плазменного нанесения покрытий на кулачки распределительного вала

Установка плазменной наплавки клапанов ДВС оснащена вращающейся опорой с охлаждением для наплавляемого клапана, специальным двухдуговым плазмотроном с косвенной и прямой дугами. Это позволит реализовать эффективный гибридный процесс наплавки-напыления на установке типа ОКС-1192 производства ИЭС им. Е. В. Патона (рис. 3, 4) с возможностью колебательного движения плазмотрона типа плазмотрона ВСХИЗО (рис. 5). Современной установкой является установка компании НПФ «Плазмацентр» (рис. 6) [9, 19, 20].

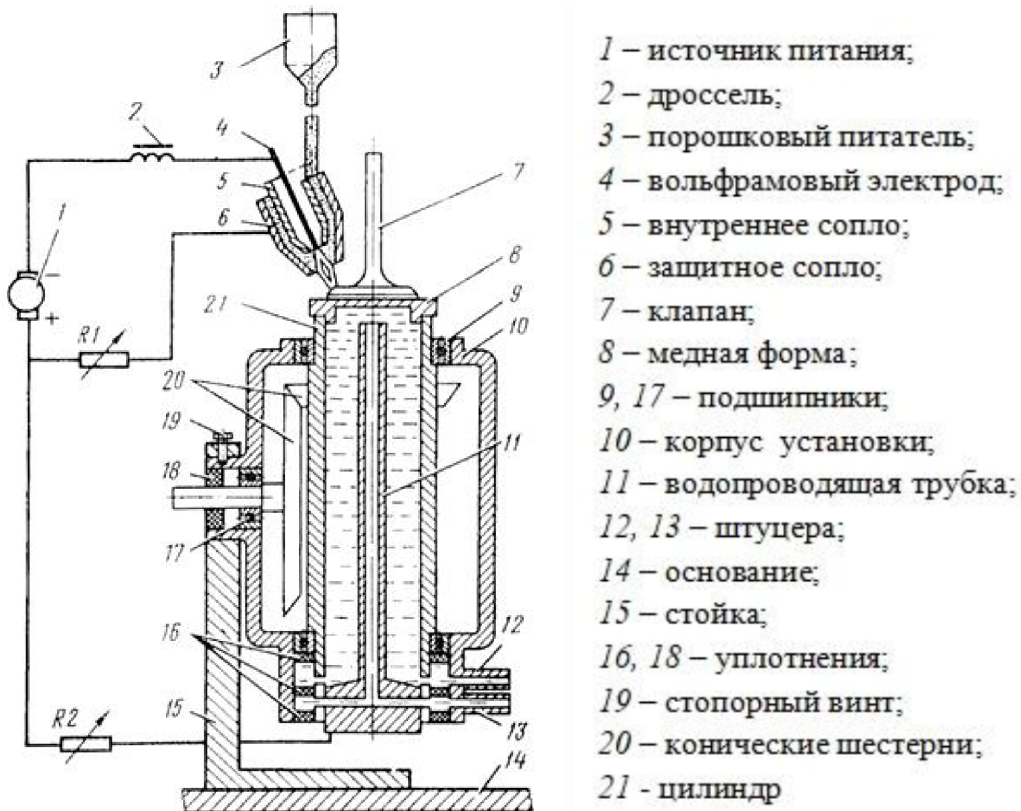
Технологическое оснащение плазменного нанесения покрытий гильз цилиндров зависит от схемы процесса. При традиционной схеме изношенная поверхность цилиндра восстанавливается с использованием схемы вращающегося цилиндра. В этом случае восстанавливаемые цилиндры обязательно вынимаются из блока цилиндров. Во втором случае цилиндры расположены внутри блока цилиндров, и для их напыления применяется конструктивная схема напыления безгильзовых блоков. В этой схеме ось сопла-анода плазмотрона расположена под углом к основной оси плазмотрона и к напыляемой поверхности под углом 60-90 градусов (рис. 7-9). Подача плазмотрона вдоль оси цилиндра регулируется с помощью регулируемого перемещения прикрепленной к нему штанги, а вращение – с помощью поворотной головки плазмотрона и вращателем с зуб-

чатыми передачами. Порошковый питатель в этой схеме также вращается и по­даёт порошок к плазматрону через корпус головки.



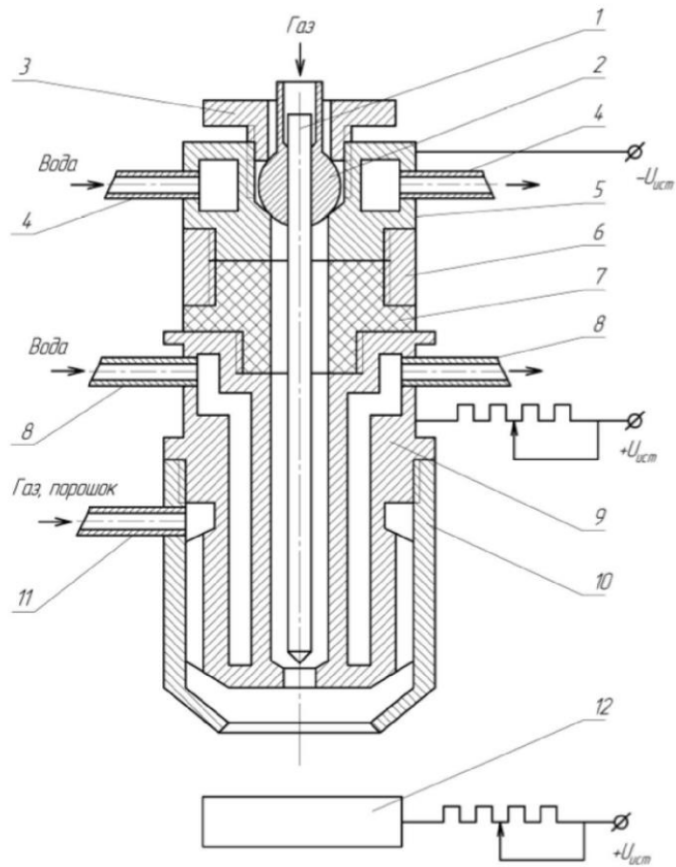
1 – бункер с порошком; 2 – порошок­вый питатель; 3 – плазматрон; 4 – за­щитное сопло плазматрона; 5 – внут­реннее сопло плазматрона; 6 – элект­род; 7 – клапан; 8 – сменный стол; 9 – вращатель; 10 – устрой­ство выведения кратера (УВК); 11 – осциллятор; 12 – реостат РБ300; 13 – токоограничительный реостат; 14 – источник питания; 15 – дроссель

Рисунок 3 – Функциональная схема установки ОКС-1192



1 – источник питания;  
2 – дроссель;  
3 – порошок­вый питатель;  
4 – вольфрамовый электрод;  
5 – внут­реннее сопло;  
6 – за­щитное сопло;  
7 – клапан;  
8 – медная форма;  
9, 17 – подшипники;  
10 – корпус установки;  
11 – водо­проводящая трубка;  
12, 13 – штуцера;  
14 – основание;  
15 – стойка;  
16, 18 – уплотнения;  
19 – стопорный винт;  
20 – конические шестерни;  
21 – цилиндр

Рисунок 4 – Схема плазменной наплавки на фаску клапана ДВС



- 1 – электрод вольфрамовый;
- 2 – цанга;
- 3 – зажим;
- 4, 8 – трубки подачи воды;
- 5 – токосъемник;
- 6 – втулка резьбовая;
- 7 – изолятор;
- 9 – внутреннее сопло;
- 10 – защитное сопло;
- 11 – трубка порошкового питателя;
- 12 – изделие

Рисунок 5 – Плазмотрон ВСХИЗО

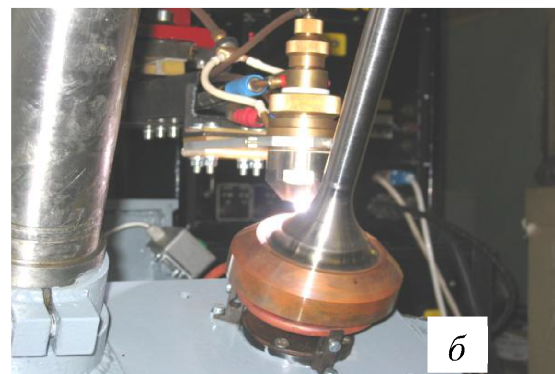
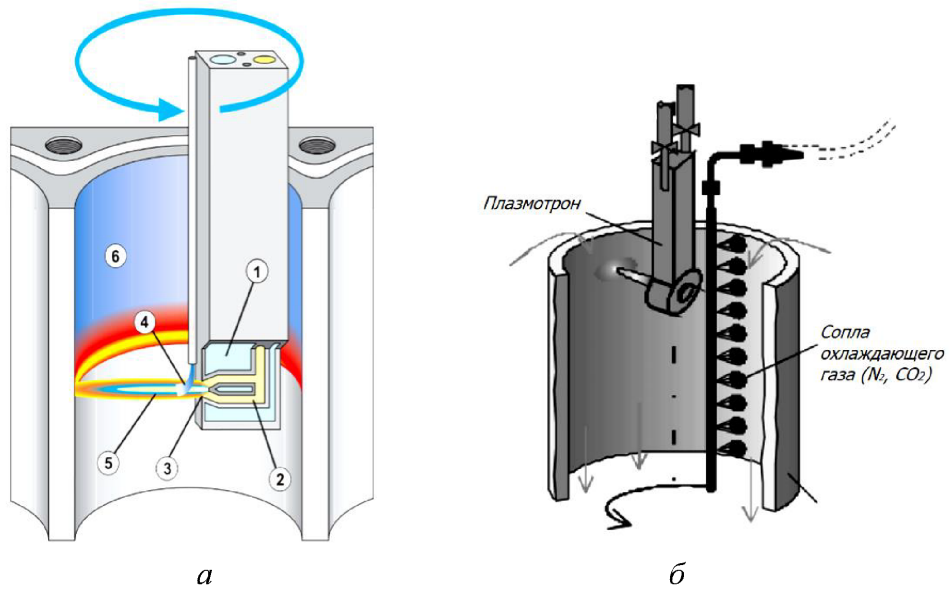


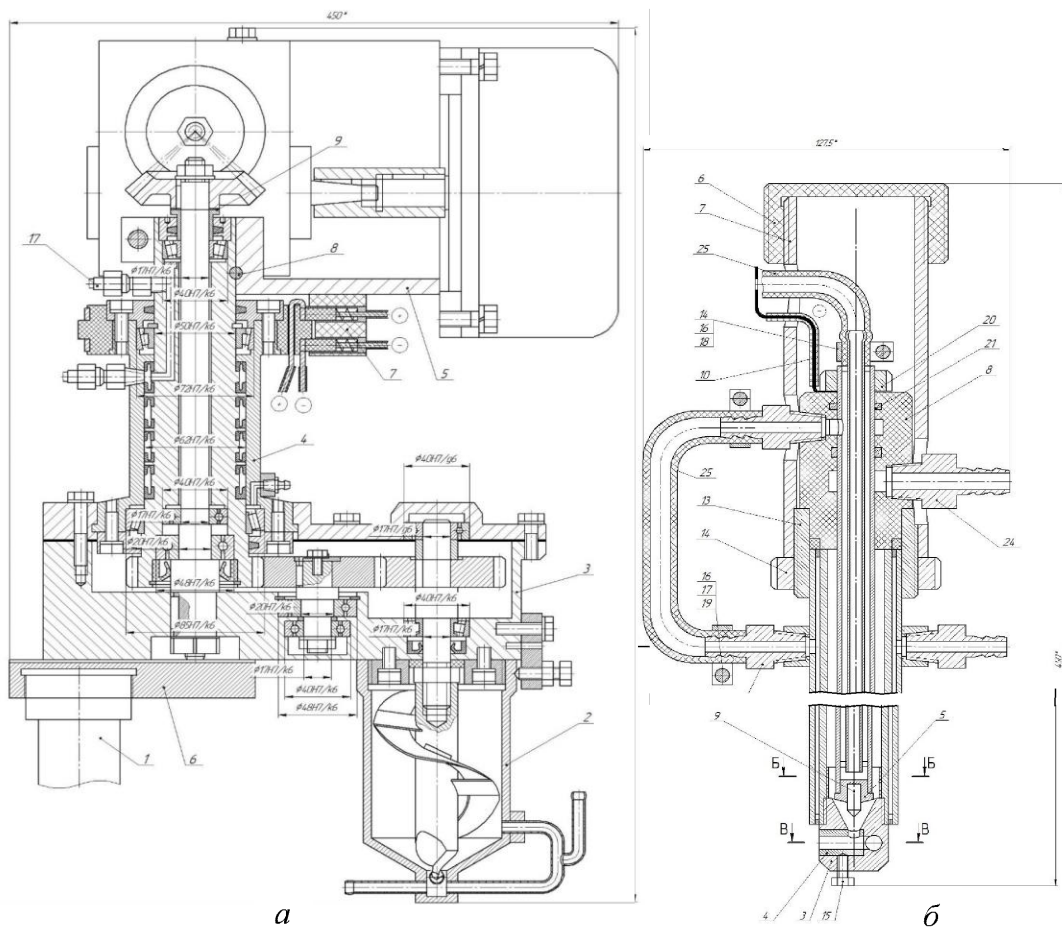
Рисунок 6 – Общий вид (а) и гибридный процесс (б) нанесения покрытия на фаску клапана





1 – водяное охлаждение; 2 – подвод плазмообразующего газа; 3 – выходное сопло; 4 – подвод порошка; 5 – плазменная струя; 6 – плазменное покрытие

Рисунок 7 – Схема напыления на внутренние поверхности цилиндра вращающимся плазмотроном (а) и схема многоструйного охлаждения цилиндра (б)



а – поворотная головка; б – плазмотрон

Рисунок 8 – Конструктивная схема поворотной головки с плазмотроном

## Заключение

Совершенствование прогрессивной технологии плазменного напыления-наплавки покрытий, как для изготовления новых деталей, так и для их восстановления в значительной степени определяется технологическим оснащением для различных типов деталей и профиля их поверхностей, основные из которых были рассмотрены. Рассмотренные средства технологического оснащения содержат и разработки авторов, которые показывают их преимущества в сравнении с традиционными вариантами. Одним из направлений дальнейшего совершенствования плазменных технологий нанесения покрытий в открытой атмосфере, относится модуляция параметров процессов [6, 8, 10].

## Список литературы

1. Восстановление автомобильных деталей : Технология и оборудование : учеб. для вузов / В. Е. Канарчук, А. Д. Чигиринец, О. Л. Голяк, П. М. Шощкий. – М. : Транспорт, 1995. – 303 с.
2. Сухочев, Г. А. Управление качеством изделий, работающих в экстремальных условиях при нестационарных воздействиях / Г. А. Сухочев. – М. : Машиностроение, 2004. – 287 с.
3. Кадырметов, А. М. Особенности процесса воздушно-плазменного нанесения и упрочнения покрытий / А. М. Кадырметов, Г. А. Сухочев // Упрочняющие технологии и покрытия. 2009. № 4 (52). С. 25-28.
4. Современные технологии плазменных и газотермических процессов нанесения покрытий в открытой атмосфере / А. М. Кадырметов, Ю. Э. Симонова, А. А. Плахотин, Д. В. Колмаков // Современные материалы, техника и технология: сборник научных статей 9-й Международной научно-практической конференции (28 декабря 2019 года) / Юго-Зап. гос. ун-т.; в 2-х томах. Том 1. – Курс : Юго-Зап. гос.ун-т, 2019. – С. 226-238.
5. Обзор вопросов эффективности плазменного напыления / А. М. Кадырметов, Е. В. Снятков, А. С. Пустовалов, Р. В. Мирзеханов // Воронежский научно-технический вестник. – 2016. – № 1 (15). – 14 с. – Библиогр.: с. 12. Режим доступа: <https://yadi.sk/i/eU59k8OIsKSTQ>.
6. Сухочев, Г. А. Экспериментальные исследования параметров управляемости процесса воздушно-плазменного нанесения и упрочнения покрытий / Г. А. Сухочев, А. М. Кадырметов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2008. – № 11(47). – С. 53-56.
7. Структура и механические свойства плазменных покрытий после электромеханической обработки / В. П. Багмутов, В. И. Калита, И. Н. Захаров, С. Н. Паршев // Физика и химия обработки материалов. 2007. № 3. С. 22-28.
8. Технологическое обеспечение качества нанесения защитных покрытий комбинированной обработкой / Г. А. Сухочев, О. Н. Кириллов, А. М. Кадырметов и др. // Упрочняющие технологии и покрытия. 2010. № 8(68). С. 39-44.
9. Соснин, Н. А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров / Н. А. Соснин, С. А. Ермаков, П. А. Тополянский. – СПб : Изд-во Политехн. ун-та, 2008. 406 с.
10. Кадырметов, А. М. Оборудование для плазменного нанесения и упрочнения покрытий с модуляцией электрических параметров / А. М. Кадырметов, Д. И. Станчев, Г. А. Сухочев // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2010. – № 11 (71). – С. 41-48.
11. Патент № 2211256 РФ, МПК 7 С 23 С 4/12. Способ нанесения покрытия / Д. И. Станчев, А. М. Кадырметов, В. Н. Бухтояров, А. В. Винокуров. – БИ № 24. – 2003.
12. Кадырметов, А. М. Технология плазменного нанесения и упрочнения покрытий в ресурсосберегающих производственных процессах / А. М. Кадырметов, Д. И. Станчев, Г. А. Сухочев // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2010. – № 7(67). С. 29-36.
13. Перспективы упрочнения покрытий методом плазменного напыления с одновременной электромеханической обработкой / А. М. Кадырметов, В. О. Никонов, В. Н. Бухтояров и др. // Станочный парк. – 2012. – № 6. – С. 58-60.

14. ГОСТ Р 50995.0.1-96. Технологическое обеспечение создания продукции. Основные положения
15. Вопросы технологического обеспечения плазменного напыления и упрочнения покрытий деталей машин / О. М. Тимохова, А. М. Кадырметов, Е. В. Снятков, В. Л. Махонин // Воронежский научно-технический вестник. – 2017. – Т. 4, № 4 (22). – С. 16-31. – Режим доступа : <http://vestnikvglta.ru/arhiv/2017/4-22-2017/16-31.pdf>.
16. Кадырметов, А. М. Манипуляторы, используемые для плазменного напыления коленчатых валов / А. М. Кадырметов, В. Н. Бухтояров, А. И. Веневцев // Энергоэффективность автотранспортных средств: нанотехнологии, информационно-коммуникационные системы, альтернативные источники энергии : материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием 4-7 июня 2019 года. – Воронеж, 2019. – С. 40-44.
17. Кадырметов, А. М. Восстановление и упрочнение сложнопрофильных поверхностей / А. М. Кадырметов, Р. В. Мирзаханов, В. Н. Бухтояров // Воронежский научно-технический вестник. – 2018. – Т. 1, № 1 (23). – С. 4-8. – Режим доступа : <http://vestnikvglta.ru/arhiv/2018/1-1-23-2018/4-8.pdf>.
18. Восстановление клапанов двигателей внутреннего сгорания плазменной наплавкой и напылением с модуляцией параметров / О. М. Тимохова, А. М. Кадырметов, Е. В. Снятков, В. В. Романов // Воронежский научно-технический вестник. – 2018. – Т. 1, № 1 (23). – С. 53-67. – Режим доступа : <http://vestnikvglta.ru/arhiv/2018/1-1-23-2018/53-67.pdf>.
19. Новое поколение установок для порошковой плазменной наплавки-напыления (процесс РТА) / П. А. Тополянский, С. А. Ермаков, А. Ю. Смирнов, Н. А. Соснин / Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки : Материалы 5-й Междунар. практ. конференции-выставки, проходившей 8-10 апреля 2003 г. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2003 (Шифр статьи R03-06).
20. Установка для плазменной порошковой наплавки – напыления клапанов (РТА-процесс) // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки : В 2 ч. – Ч. 2 : Материалы 9-й Междунар. практ. конф. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – С. 391.

## References

1. Restoration of automobile parts : Technology and equipment : Studies for universities / V. E. Kanarchuk, A.D. Chigirinets, O. L. Golyak, P. M. Shotsky. – M. : Transport, 1995. – 303 p.
2. Sukhochev, G. A. Quality management of products operating under extreme conditions under non-stationary influences / G. A. Sukhochev. – M. : Mashinostroenie, 2004. – 287 p.
3. Kadyrmetov A. M., Sukhochev G. A. Features of the process of air-plasma deposition and hardening of coatings // Hardening technologies and coatings. 2009. № 4(52). pp. 25-28.
4. Modern technologies of plasma and gas thermal coating processes in an open atmosphere / A. M. Kadyrmetov, Y. E. Simonova, A. A. Plakhotin, D. V. Kolmakov // Modern materials, technique and technology: collection of scientific articles of the 9th International Scientific and Practical Conference (December 28, 2019) / Yugo-Zapad State University; in 2 volumes. Volume 1. – Course : South-West State University, 2019. – pp. 226-238.
5. Review of the efficiency of plasma spraying / A. M. Kadyrmetov, E. V., Snyatkov, A. S. Pustovalov, R. V. Mirzekhanov // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. – 2016. – № 1 (15). – 14 p. – Bibliogr. : p. 12. Access mode : <https://yadi.sk/i/eU59k8OIsKSTQ>.
6. Sukhochev, G. A. Experimental studies of the controllability parameters of the process of air-plasma deposition and hardening of coatings / G. A. Sukhochev, A. M. Kadyrmetov // Hardening technologies and coatings. – 2008. – № 11(47). – Pp. 53-56.

7. Structure and mechanical properties of plasma coatings after electromechanical processing / V. P. Bagmutov, V. I. Kalita, I. N. Zakharov, S. N. Parshev // *Physics and chemistry of materials processing*. 2007. № 3. S. 22-28.
8. Technological quality assurance of protective coatings by combined treatment / G. A. Sukhochev, O. N. Kirillov, A. M. Kadyrmetov et al. // *Hardening technologies and coatings*. 2010. № 8(68). pp. 39-44.
9. Sosnin, N. A. *Plasma technologies. Handbook for engineers* / N. A. Sosnin, S. A. Ermakov, P. A. Topolyansky. – St. Petersburg : Publishing House of the Polytechnic University, 2008. 406 p.
10. Kadyrmetov, A. M. Equipment for plasma deposition and hardening of coatings with modulation of electrical parameters / A. M. Kadyrmetov, D. I. Stanchev, G. A. Sukhochev // *Hardening technologies and coatings*. – 2010. – № 11(71). – Pp. 41-48.
11. Patent № 2211256 of the Russian Federation, IPC 7 C 23 From 4/12. The method of coating / D. I. Stanchev, A. M. Kadyrmetov, V. N. Bukhtoyarov, A. V. Vinokurov. BI № 24. 2003.
12. Kadyrmetov, A. M. Technology of plasma deposition and hardening of coatings in resource-saving production processes / A. M. Kadyrmetov, D. I. Stanchev, G. A. Sukhochev // *Hardening technologies and coatings*. – 2010. – № 7 (67). Pp. 29-36.
13. Prospects for hardening coatings by plasma spraying with simultaneous electromechanical processing / A. M. Kadyrmetov, V. O. Nikonov, V. N. Bukhtoyarov et al. // *Machine park*. – 2012. – № 6. – pp. 58-60.
14. GOST R 50995.0.1-96. Technological support for the creation of products. The main provisions.
15. Issues of technological support for plasma spraying and hardening of coatings of machine parts / O. M. Timokhova, A. M. Kadyrmetov, E. V. Snyatkov, V. L. Makhonin // *Voronezh Scientific and Technical Bulletin*. – 2017. – vol. 4, № 4 (22). – pp. 16-31. – URL: <http://vestnikvglta.ru/arhiv/2017/4-22-2017/16-31.pdf>.
16. Kadyrmetov, A. M. Manipulators used for plasma spraying of crankshafts / A. M. Kadyrmetov, V. N. Bukhtoyarov, A. I. Venevtsev // *Energy efficiency of motor vehicles: nanotechnology, information and communication systems, alternative energy sources : materials of the All-Russian Scientific and technical conference with international participation June 4-7, 2019*. – Voronezh, 2019. – pp.40-44.
17. Kadyrmetov, A. M. Restoration and hardening of complex profile surfaces / A. M. Kadyrmetov, R. V. Mirzekhanov, V. N. Bukhtoyarov // *Voronezh Scientific and Technical Bulletin*. - 2018. – vol. 1, № 1 (23). – pp. 4-8. – URL: <http://vestnikvglta.ru/arhiv/2018/1-1-23-2018/4-8.pdf>.
18. Restoration of valves of internal combustion engines by plasma surfacing and spraying with modulated parameters / O. M. Timokhova, A. M. Kadyrmetov, E. V. Snyatkov, V. V. Romanov // *Voronezh Scientific and Technical Bulletin*. – 2018. – vol. 1, № 1 (23). – pp. 53-67. – URL: <http://vestnikvglta.ru/arhiv/2018/1-1-23-2018/53-67.pdf>.
19. A new generation of installations for powder plasma surfacing (MOUTH process) / P. A. Topolyansky, S. A. Ermakov, A. Yu. Smirnov, N. A. Sosnin / *Technologies for repair, restoration and hardening of machine parts, mechanisms, equipment, tools and technological equipment : Materials 5th International. The practical conference-exhibition, held on April 8-10, 2003*. – St. Petersburg : Publishing House of the Polytechnic University, 2003 (Code of the article R03-06).
20. Installation for plasma powder surfacing – spraying of valves (PTA process) / *Technologies for repair, restoration and hardening of machine parts, mechanisms, equipment, tools and technological equipment : In 2 hours – Part 2 : Materials of the 9th International Practical conference*. – St. Petersburg : Publishing House of the Polytechnic University, 2007. – p. 391.