

УДК 691.791.631  
DOI: 10.12737/18086

**В.С. Киселев**, к.т.н.,  
**А.И. Щеткин**, аспирант,  
**М.В. Радченко**, д.т.н  
(Алтайский государственный технический университет  
имени И.И. Ползунова, г. Барнаул)  
E-mail: smallal@inbox.ru

## **Проектирование и технология изготовления модернизированной установки для сверхзвуковой газопорошковой наплавки**

*Представлены результаты разработки оригинальной конструкции устройства для сверхзвуковой газопорошковой наплавки (СГП-наплавки). Рассмотрены модели основных деталей оборудования. Описаны основные требования, предъявляемые к разработанному устройству. Приведена технология изготовления основных деталей модернизированной установки.*

**Ключевые слова:** промышленная безопасность; сверхзвуковая газопорошковая наплавка; разработка и изготовление газопламенного оборудования; программный комплекс SolidWorks 2016; повышение надежности и безопасности производства.

**V.S. Kiselyov**, Can.Eng.,  
**A.I. Shchyotkin**, Post graduate student,  
**M.V. Radchenko**, D.Eng.  
(Polzunov State Technical University of Altai, Barnaul)

## **Design and technology of updated plant manufacturing for supersonic gas powder weld deposition**

*The results of the device original design development for supersonic gas powder weld deposition (SGP-weld deposition) are presented. The models of basic parts of equipment are considered. The basic requirements made to the device developed are described. The techniques for manufacturing main parts of an updated plant are shown.*

**Keywords:** industrial safety; supersonic gas powder weld deposition; development and manufacturing flame equipment; software complex SolidWorks 2016; increase of reliability and production safety.

Промышленная безопасность при эксплуатации машин и механизмов в большой степени зависит от их надёжности и долговечности. Одним из важных показателей при этом является износостойкость поверхностных слоев деталей – даже относительно небольшое повышение износостойкости дает значительный экономический эффект. Одним из наиболее прогрессивных и эффективных направлений создания деталей с заданными свойствами на их рабочих поверхностях является нанесение защитных покрытий с использованием концентрированных потоков энергии [1].

Среди различных методов нанесения покрытий в последние годы активно развивают-

ся методы с использованием сверхзвуковых газовых струй, в частности процессы напыления порошковых износостойких материалов [2].

Однако, как и всем методам напыления, этому методу присущ практически неустранимый недостаток – возможность с течением времени отслоения покрытия от основы, что снижает уровень промышленной безопасности при эксплуатации оборудования.

Эта проблема решается заменой процесса напыления на процесс создания неразъемного соединения покрытия с поверхностью детали – наплавкой с использованием сверхзвуковых газопорошковых струй [3, 4].

Технология и аппаратура для сверхзвуковой газопорошковой наплавки самофлюсующихся порошковых сплавов системы Ni–Cr–B–Si на поверхности деталей позволяет получить износостойкие комбинированные покрытия, устойчивые к различным видам износа в различных отраслях промышленности, включая машиностроение, в том числе и оборонное, теплоэнергетику.

Однако процесс наплавки на рынке российских технологий существует всего порядка 10 лет и при всей перспективности является малоизученным.

Целью работы является модернизация конструкции запатентованного ранее устройства для сверхзвуковой газопорошковой наплавки многофункциональных защитных покрытий.

Для достижения цели в работе ставился ряд задач, среди которых:

- изготовить конструкцию горелки из жаропрочных материалов на прецизионном оборудовании (рис. 1);

- предусмотреть возможность в конструкции пистолета для СГП-наплавки простую операцию смены сопла, для чего было изготовлено несколько сопел Лавалья (рис. 2) с числом Маха М2, М4 и М6;

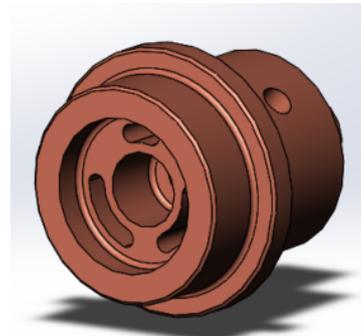
- спроектировать более интенсивную систему охлаждения сопла Лавалья;

- исследовать процесс обжатия сверхзвуковой газовой струи сжатым воздухом при использовании нескольких насадок на ствол пистолета для подачи воздуха: параллельно пламени; перпендикулярно; под углом 15 градусов.

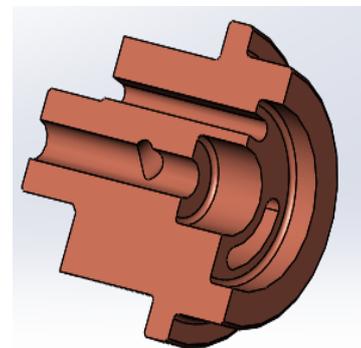
На современном этапе развития средств компьютерного моделирования процесс проектирования любого изделия сложно представить без проведения инженерного анализа, в том числе прочностного, теплового, электромагнитного и т.д. Инженерные расчеты призваны сократить время, затрачиваемое специалистом на поиск рациональных конструктивных решений, позволяют избежать ошибок до начала изготовления изделия, свести до минимума количество натурных испытаний и в кратчайшие сроки получить приемлемый результат.

Для проектирования пистолета для СГПН (рис. 3) был использован современный программный комплекс SolidWorks 2016, предназначенный для автоматизации работ промышленных предприятий на этапах конструкторской и технологической подготовки производ-

ства изделий любой степени сложности и назначения. Специализированные модули программного комплекса решают задачи на этапе производства и эксплуатации.



а)



б)

Рис. 1. Охлаждаемый наконечник горелки для СГП-наплавки: а – общий вид; б – вид в разрезе

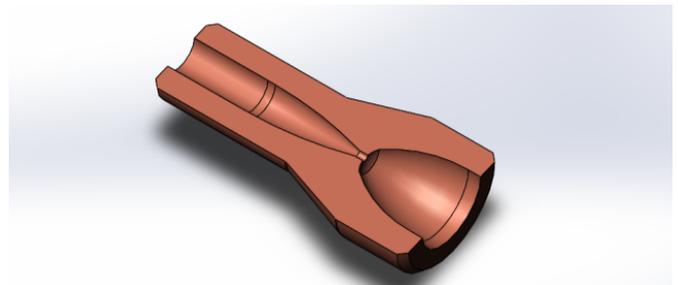


Рис. 2. Модель экспериментального сопла Лавалья в разрезе

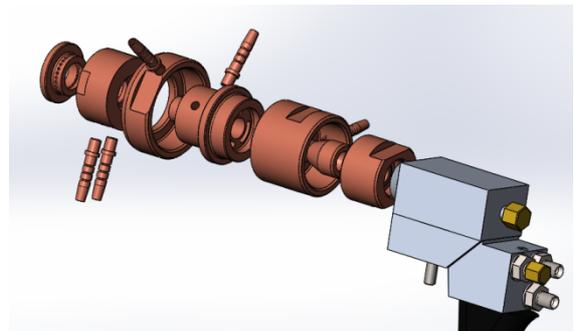


Рис. 3. Модель разобранного пистолета для СГПН

Редактор SolidWorks 2016 позволяет создавать трехмерные модели отдельных деталей, сборочные единицы, состоящие из нескольких деталей, и чертежи по деталям. Основные детали новой конструкции горелки для сверхзвуковой газопорошковой наплавки изготовлены на токарно-фрезерном обрабатывающем центре высокой точности DMG 1250 CTX Beta. Для изготовления сопел разработан уникальный осевой режущий инструмент (зенкер), изготовленный на шлифовально-заточном станке ANCA RX7 из твердосплавного материала.

Основная сложность заключалась в изготовлении критического сечения сопла, диаметр которого менее миллиметра. Расчетные значения диаметров критических сечений экспериментальных сопел Лавалья для чисел Маха M2, M4 и M6 составляют 0,9; 0,7 и 0,5 мм соответственно. Данная операция была проведена на электроэрозионном микрофрезерном станке SARIX SX200 (Швейцария). Внутренняя поверхность отполирована вручную высококвалифицированным доводчиком.

Смеситель и рукоятка выполнены на базе наиболее отработанного технологического оборудования для нанесения покрытий способом газопорошкового напыления типа «КЕДР». Внешний вид представлен на рис. 4.

При разработке были сформулированы основные требования, предъявляемые к оборудованию:

- интенсивное охлаждение, поступление охлаждающей жидкости в камеру к соплу;
- наличие двух каналов для подачи порошка для возможности получения комбинированных покрытий;

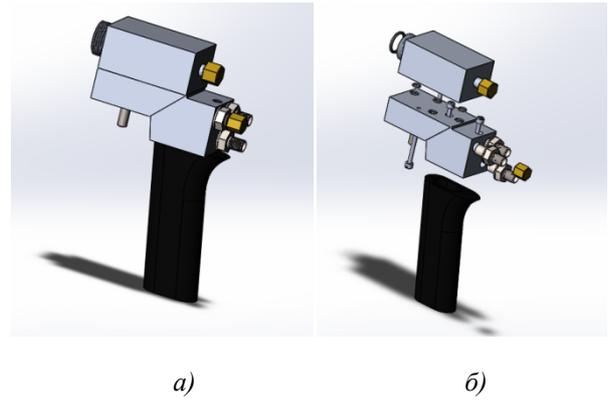


Рис. 4. Модель смесителя установки «Кедр»:

а – общий вид в сборе; б – составные элементы в разборе

– обеспечение в конструкции каналов беспрепятственного прохождения порошкового сплава при отсутствии возможности появления конденсата.

Для быстрой смены сопла и простоты разборки пистолета был изготовлен специализированный ключ, позволяющий выполнять им одним сборку всей конструкции (рис. 5).

Для реализации технологического процесса СП-наплавки износостойких покрытий с использованием модернизированного устройства был разработан алгоритм подготовки и настройки оборудования, представленный на рис. 6.

Таким образом, с целью повышения промышленной безопасности эксплуатации технологического оборудования в машиностроении были выполнены конструкторско-технологические исследования, на основе которых проведено проектирование и изготовление модернизированного устройства для сверхзвуковой газопорошковой наплавки.

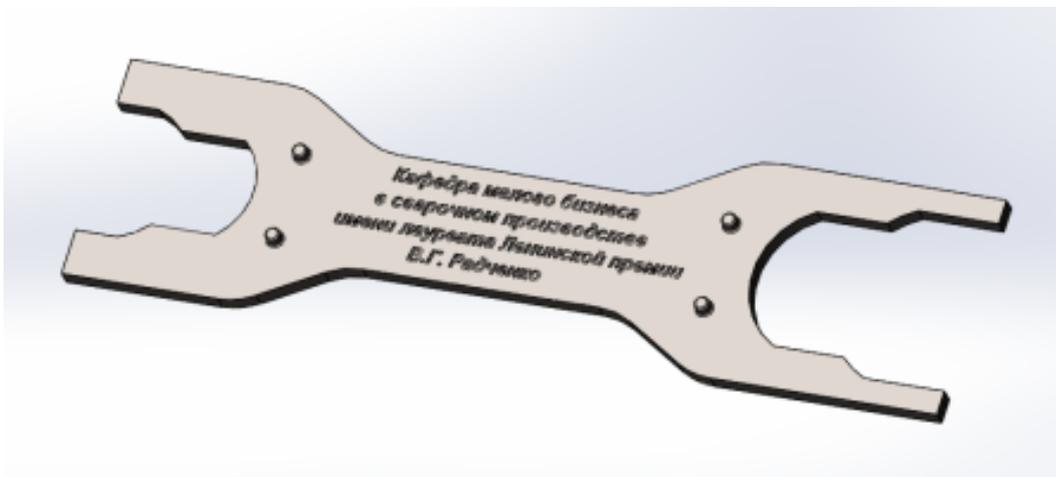


Рис. 5. Специализированный ключ для сборки сверхзвукового устройства для наплавки (с гравировкой)



Рис. 6. Алгоритм подготовки и настройки оборудования

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радченко М.В., Киселев В.С. Разработка технологии создания защитных покрытий для повышения надежности и безопасности промышленного производства. Проблемы техносферной безопасности. 2015. Сб. статей I Международ. заочной научно-практической конференции (10 февраля 2015 г.) / под ред. А.А. Мельберт, М.Н. Вишняк. Барнаул: АлтГТУ, 2015. С. 163–165.
2. Praxair surface technologies - TAFA: HP/HVOF equipment solutions. 2009.
3. Пат. РФ № 60410, МПК В22В 19/06. Устройство для сверхзвуковой газопорошковой наплавки / М.В. Радченко, Ю.О. Шевцов, Т.Б. Радченко, Д.А. Нагорный, С.А. Маньковский; заявлен. 4.07.2006; опублик. 27.01.2007 в Б.И. № 3.
4. Пат. РФ № 2346077. Способ сверхзвуковой газопорошковой наплавки / М.В. Радченко, Ю.О. Шевцов, Т.Б. Радченко, В.В. Игнатьев; заявл. 19.03.2007. 10.02.2009.

## REFERENCES

1. Radchenko, M.V., Kiselyov, V.S., Technique development for the creation of protective coatings to increase reliability and safety of industrial production. Problems in technospherical safety. 2015. *Proceedings of the 1st Inter. Distant Scientific-Practical Conf. (February 10, 2015)* / under the editorship of A.A. Melbert, M.N. Vishnyak. Barnaul: AltSTU, 2015. pp. 163–165.
2. Praxair surface technologies - TAFA: HP/HVOF equipment solutions. 2009.
3. Pat. RF № 60410, IPC V22V 19/06. Device for supersonic gas powder weld deposition / M.V. Radchenko, Yu.O. Shevtsov, T.B. Radchenko, D.A. Nagorny, S.A. Mankovsky; applied. 4.07.2006; published. 27.01.2007 in B.I. № 3.
4. Pat. RF № 2346077. Method for supersonic gas powder weld deposition / M.V. Radchenko, Yu.O. Shevtsov, T.B. Radchenko, V.V. Ignatiev; applied 19.03.2007. 10.02.2009.

Рецензент д.т.н. И.И. Артемов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

"Брянский государственный технический университет"

241035, г. Брянск, бульвар 50-летия Октября, 7

<http://www.ntmash.tu-bryansk.ru>

Телефон редакции журнала: 8-903-592-87-39. E-mail: naukatm@yandex.ru

Вёрстка А.А. Алисов. Технический редактор А.А. Алисов. Корректор Н.В. Дюбова.

Сдано в набор 30.01.2016. Подписано в печать 18.03.2016.

Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Цена свободная.

Отпечатано в типографии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования

"Брянский государственный технический университет"

241035, г. Брянск, бульвар 50-летия Октября, 7