

Научная статья
Статья в открытом доступе
УДК 621.664:669.715
doi: 10.30987/2782-5957-2022-4-44-50

ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИЕЙ

**Александр Викторович Коломейченко^{1✉}, Александр Олегович Горленко²,
Владимир Николаевич Логачев³, Николай Владимирович Титов⁴**

¹ Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ», Москва, Россия.

² Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия.

^{3,4} Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, Орел, Россия.

¹ kolomiychenko@nami.ru

² bugi12@bk.ru

³ logvovan@mail.ru, ogau@mail.ru

⁴ тел. +7(910)2693836

Аннотация

Цель исследования: провести оптимизацию дистанции металлизации на сверхзвуковых электродуговых металлизаторах, которые обладают рядом преимуществ в сравнении с дозвуковыми металлизаторами и широко используются в настоящее время в машиностроительном и ремонтном производстве, в ремонтных мастерских сельскохозяйственных организаций и фермерских хозяйствах.

Задача, решению которой посвящена статья, заключается в определении дистанции металлизации, где достигается максимальная скорость истечения воздушного потока в сверхзвуковом и дозвуковом режиме нанесения покрытий.

Измерение скорости воздушного потока проводили с помощью прибора ПДПП-1 в металлизаторах ЭМ-12М и ЭДМ-9ШД. В качестве источника питания применяли выпрямитель постоянного электрического тока с жесткой вольт-амперной характеристикой (ВДУ-506).

Новизна работы заключается в установлении рациональных значений дистанции металлизации,

при которых обеспечиваются наилучшие физико-механические свойства металлизационных покрытий.

В результате исследования определена скорость воздушного потока на удалении от сопла металлизатора и установлено ее максимальное значение. Это позволило скорректировать дистанцию нанесения покрытий с 120 мм при дозвуковой металлизации до 160 мм при сверхзвуковой. Сравнительные лабораторные испытания сверхзвукового металлизатора ЭДМ-9ШД показали, что при дистанции металлизации 160 мм повышается адгезивно-когезионная прочность на 20...25%, плотность покрытия на 18...23% и коэффициент использования присадочного материала на 12...15% по сравнению с дозвуковой скоростью истечения воздушного потока.

Ключевые слова: металлизатор, дистанция металлизации, воздушный поток, нанесение покрытий.

Ссылка для цитирования:

Коломейченко А.В. Оборудование и технологические рекомендации для нанесения покрытий электродуговой металлизацией /А. В. Коломейченко, А. О. Горленко, В. Н. Логачев, Н. В. Титов // Транспортное машиностроение. – 2022. - № 4. – С. 44–50. doi: 10.30987/2782-5957-2022-4-44-50.

Original article
Open Access Article

EQUIPMENT AND TECHNOLOGICAL RECOMMENDATIONS FOR COATING WITH THERMAL SPRAYING

**Aleksandr Viktorovich Kolomeichenko^{1✉}, Aleksandr Olegovich Gorlenko²,
Vladimir Nikolaevich Logachev³, Nikolay Vladimirovich Titov⁴**

¹ Central Research and Development Automobile and Engine Institute NAMI, Moscow, Russia.

² Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia.

^{3,4} Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Orel, Russia.

¹ kolomyichenko@nami.ru

² bugi12@bk.ru

³ logvovan@mail.ru, ogau@mail.ru

⁴ тел. +7(910)2693836

The study objective is to optimize the spraying distance on supersonic arc spraying pistols, which have a number of advantages in comparison with pre-sonic spraying pistols and are widely used at present in machine-building and repair production, in repair shops of agricultural organizations and farms.

The problem to which the paper is devoted is to determine the spraying distance, where the maximum air flow velocity is reached in supersonic and subsonic coating modes.

The air flow velocity is measured using ПДГП-1 device in ЭМ-12М and ЭДМ-9ШД spraying pistols. A DC rectifier with a rigid volt-ampere characteristic (ВДУ-506) is used as a power source.

The novelty of the work is in finding rational values of the spraying distance, at which the best phys-

ical and mechanical properties of metal-sprayed coatings are ensured.

As a result of the study, the air flow velocity is determined at a distance from the spraying pistol nozzle and its maximum value is established. This makes it possible to adjust the coating distance from 120 mm for subsonic spraying and to 160 mm for supersonic one. Comparative laboratory tests of ЭДМ-9ШД supersonic spraying pistol have shown that at a spraying distance of 160 mm, the adhesive-cohesive strength increases by 20...25%, the coating density by 18...23% and the coefficient of use of the additive material by 12...15% in comparison with subsonic velocity of air flow.

Keywords: spraying pistol, spraying pistol distance, air flow, coating.

Reference for citing:

Kolomeichenko A.V., Gorlenko A.O., Logachev V. N., Titov N.V. *Equipment and technological recommendations for coating with thermal spraying.* - *Transport Engineering.* - 2022. - № 4. - p. 44 -50. doi: 10.30987/2782-5957-2022-4-44-50.

Введение

Несмотря на обширный объем выполненных исследований по электродуговой металлзации, извечные ее проблемы за рубежом и в России – адгезионно-когезионная прочность, плотность покрытия и коэффициент использования присадочного материала остаются до конца нерешенными. За рубежом и у нас пытаются решать эти задачи улучшением конструкции системы истечения воздуха и повыше-

нием скорости воздушного потока. В последнее время разрабатываются, совершенствуются и производятся электродуговые металлзаторы у которых скорость истечения воздушного потока превышает скорость звука. Чтобы формировать покрытия с высокими физико-механическими свойствами, необходима корректировка режимов сверхзвуковой металлзации [1-7].

Оборудование для электродуговой металлзации.

На смену дозвуковым электродуговым металлзаторам таким как ЭМ-14М, ЭДМ-5М, ЭМ-12М, ЭМ-17, ЭМ-19 и др. приходят более совершенные сверхзвуковые металлзаторы ЭДМ-9ШД, ЭДМ-10ШД, ЭДМ-5У и установки С-20-В-ПП, УЭМ-500-ТЛ, ТСЗП SPARK 400 и т.д. Металлзаторы ЭДМ-9ШД (рис. 1) и ЭДМ-10ШД (рис. 2), разработаны в Государственном научном учреждении «Всерос-

сийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка» (ГНУ ГОСНИТИ), в состав которого в 2003 г. вошел ВНИИТУВИД «Ремдеталь» (в настоящее время ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва). Технические характеристики металлзаторов ЭДМ-9ШД и ЭДМ-10ШД представлены в табл. 1.



Рис. 1. Сверхзвуковой электродуговой металллизатор ЭДМ-9ШД
 Fig. 1. Supersonic electric arc metallizer EDM-9SHD

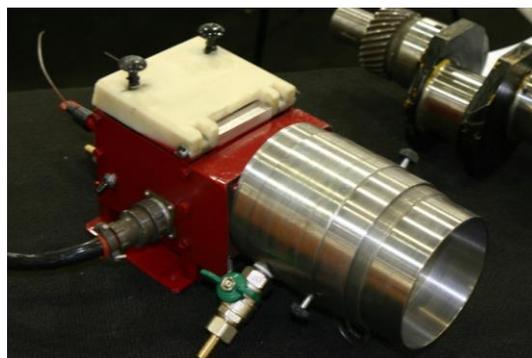


Рис. 2. Сверхзвуковой электродуговой металллизатор ЭДМ-10ШД
 Fig. 2. Supersonic electric arc metallizer EDM-10SHD

Таблица 1
 Технические характеристики сверхзвуковых электродуговых металллизаторов ЭДМ-9ШД и ЭДМ-10 ШД

Table 1

Technical characteristics of supersonic electric arc metallizers EDM-9ShD and EDM-10 SHD

Показатель	Металлизатор ЭДМ-9ШД	Металлизатор ЭДМ-10ШД
1. Тип металллизатора	ручной, универсальный	стационарный (станочный)
2. Производительность, кг/ч	до 18	до 20
3. Давление сжатого воздуха, МПа	0,6...0,7	0,6...0,7
4. Расход сжатого воздуха, м ³ /мин	2,0	2,5
5. Скорость истечения воздушного потока, м/с	540	540
6. Мощность дуги, кВт	9	9
7. Рабочий электрический ток, А	до 380	до 380
8. Рабочее напряжение дуги, В	17...40	17...40
9. Диаметр электродной проволоки, мм	1,6...2,0	1,6...2,3
10. Регулировка скорости подачи электродной проволоки, м/мин	8,8...14,6	8,8...14,6

Металлизатор ЭДМ-9ШД состоит из корпуса, внутри которого находится шаговый двигатель привода. Внизу находится рукоятка, через которую проходит трубка подачи сжатого воздуха к распылительной головке. Над последней установлен защитный экран. Электродные проволоки в точке соприкосновения и образования электрической дуги перед выходным соплом подаются через приемные и выходные патрубки, электрически изолированные друг от друга. До захода в приемные патрубки между ними и кассетой с двумя катушками электродная проволока должна проходить через изолирующие от короткого замыкания рукава.

Сварочный ток через силовые кабели и клеммы, имеющие отверстия для болто-

вого крепления, поступает непосредственно на выходные патрубки металллизатора и электродную проволоку. Включение и выключение рабочего режима металллизации может производиться, как нажатием переключателя, расположенного над рукояткой так и через блок управления подключенного к электрическому разъему металллизатора.

Российской научно-производственной фирмой «ТОМ» разработан сверхзвуковой электродуговой металллизатор ЭДМ-5У, впервые продемонстрированный на международной выставке «Рос-сварка-2007». Металлизатор (рис. 3) выполнен на базе стандартного итальянского мотор-редуктора, прост в эксплуатации и не требует частого технического обслужи-

вания [8]. Асинхронный электрический двигатель мощностью 0,25 кВт позволяет металлизатору работать с проволоками диаметром до 3,5 мм. Особая конструкция сверхзвукового воздушного сопла обеспечивает скорость истечения воздушного по-

тока до 500 м/с без добавления горючих элементов. Пульт управления металлизатором оснащен частотным преобразователем для плавного регулирования режимов ЭДМ. Техническая характеристика металлизатора ЭДМ-5У представлена в табл. 2.

Таблица 2

Техническая характеристика металлизатора ЭДМ-5У

Table 2

Technical characteristics of the metallizer EDM-5U

Показатель	Значение
1. Тип металлизатора	стационарный (на гибкой подвеске – ручной)
2. Производительность, кг/час, по стали	до 25
3. Толщина покрытия, мм	0,2...7,0
4. Мощность дуги, кВт	до 24,5
5. Рабочий электрический ток, А	до 700
6. Рабочее напряжение дуги, В	17...35
7. Давление сжатого воздуха, МПа	0,4...0,7
8. Расход сжатого воздуха, м ³ /мин (максимальный)	2,0
9. Напряжение питающей сети, В	220
10. Диаметр электродной проволоки, мм	1,6...3,5
11. Номинальная мощность электродвигателя, Вт	250
12. Масса металлизатора, кг	10,2 (без пульта); 13,4 (с пультом)
13. Регулирование скорости подачи проволоки, м/мин	1,1...20
14. Уровень шума в зоне работы оператора на открытом воздухе, дБ, не более	95
15. Габаритные размеры, мм	490x224x160 (металлизатор); 350x260x180 (пульт управления)

Методика исследования

В связи с разработкой сверхзвуковых металлизаторов появилась необходимость в оптимизации режимов нанесения покрытий, одним из которых является дистанция металлизации. Суть заключается в определении дистанции металлизации, соответствующей максимальному значению скорости воздушного потока. Для этого провели экспериментальные исследования по измерению скорости воздушного потока в

зависимости от дистанции металлизации в сверхзвуковом и в дозвуковом режиме нанесения покрытий.

Для определения скорости воздушного потока использовали прибор ПДГП-1 (рис. 4), измерение проводили в металлизаторах дозвуковом ЭМ-12М и сверхзвуковом ЭДМ-9ШД. Источником питания служил выпрямитель постоянного электрического тока ВДУ-506.



Рис. 3. Электродуговой металлизатор ЭДМ-5У

Fig. 3. Electric arc metallizer EDM-5U



Рис. 4. Прибор для измерения давления на поверхность ПДГП-1

Fig. 4. Device for measuring pressure on the surface of PDGP-1

Скорость воздушного потока в зависимости от давления на поверхность датчика определялась по формуле:

$$V = \sqrt{\frac{2D_n}{m}},$$

Результаты исследования

Измерение скорости воздушного потока на дистанции металлизации 110...170 мм, показало, что скорость при удалении от выхода из сопла увеличивается и при достижении определенного значения дистанции начинает снижаться.

где D_n – давление потока, МПа; m – массовый расход воздуха, г/с.

При определении массового расхода воздуха (m) можно воспользоваться газодинамическим расчётом сверхзвукового (дозвукового) воздушного сопла [9].

Динамика изменения скорости воздушного потока из сопел металлаторов ЭМ-12М и ЭДМ-9ШД в зависимости от дистанции металлизации представлена в табл. 3.

Таблица 3

Скорость истечения воздушных потоков из сопел металлаторов ЭМ-12М и ЭДМ-9ШД в зависимости от дистанции металлизации

Table 3

The rate of air flow outflow from the nozzles of the metallizers EM-12M and EDM-9SHD depending on the distance of metallization

Наименование показателя	Дистанция металлизации, мм						
	110	120	130	140	150	160	170
Скорость истечения сверхзвукового воздушного потока, м/с	410	455	491	515	535	545	522
Скорость истечения дозвукового воздушного потока, м/с	245	272	261	224	195	178	162

Анализируя результаты экспериментальных исследований (таблица 3) скорости воздушного потока на дистанции металлизации 110...170 мм от среза сверхзвукового (дозвукового) сопла, можно сделать следующие выводы. Максимальное значение сверхзвуковой скорости воздушного потока достигаются на дистанции металлизации 160 мм и составляет 545 м/с. Ранее производителями дозвуковых ме-

таллизаторов рекомендовалась дистанция нанесения покрытий 120...130 мм. Это подтверждают и наши исследования, где наибольшая скорость дозвукового воздушного потока равна 272 м/с при дистанции металлизации 120 мм. Поэтому при применении сверхзвуковых электродуговых металлаторов необходимо учитывать полученную корректировку и производить металлизацию на дистанции 160 мм [10].

Заключение

Проведенные экспериментальные исследования позволили оптимизировать дистанцию металлизации при использовании сверхзвуковых металлаторов различных производителей. В дозвуковой металлизации дистанция металлизации принималась 120 мм, при сверхзвуковой скорректирована до 160 мм.

Сравнительные лабораторные испытания сверхзвукового металлатора ЭДМ-

9ШД при дистанции металлизации 160 мм показали повышение адгезионно-когезионной прочности на 20...25 %, плотности покрытия на 18...23 % и коэффициента использования присадочного материала на 12...15 % по сравнению с дозвуковым уровнем истечения воздушной струи [11-16].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бороненков В.Н., Коробов Ю.С. Основы дуговой металлизации. Физико-химические закономерности. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2012. 268 с.
2. Иванов В.П., Ивашко В.С., Константинов В.М., Лялякин В.П. [и др.] Восстановление и упрочнение деталей: монография. М.: Наука и технологии, 2013. 368 с.
3. Черноиванов В.И., Лялякин В.П., Голубев И.Г. Организация и технология восстановления деталей машин. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. 568 с.
4. Лялякин В.П. Восстановление деталей машин - важное направление импортозамещения в агропромышленном комплексе. Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2019;9:3-5.
5. Litovchenko N.N. A three-electrode electric arc metallising gun – innovation project. Welding International. 2016;30(7):560-562.
6. Литовченко Н.Н., Лялякин В.П., Саблукоев А.С. Электродуговой металлизатор. Патент на изобретение RU 2220008 C1, 27.12.2003. Заявка № 2002118457/12 от 11.07.2002.
7. Лялякин В.П., Мурзаев В.П., Слинко Д.Б., Соловьев Р.Ю. Физико-механические свойства покрытий, полученных электродуговой металлизацией порошковыми проволоками. Технология машиностроения. 2017;5:24-28.
8. Электродуговой металлизатор ЭДМ-5У. URL: http://www.firmatom.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=44&Itemid=40
9. Литовченко, Н.Н., Петряков Б.И. Прибор для измерения давления гетерофазного потока при электродуговой металлизации. Труды ГОСНИТИ. 2012;109(2):112-116.
10. Денисов В.И., Литовченко Н.Н., Логачев В.Н., Толкачев А.А. Способ измерения давления гетерофазного потока при сверхзвуковой электродуговой металлизации. Труды ГОСНИТИ. 2016;122:163-166.
11. Литовченко Н.Н., Петряков Б.И., Толкачев А.А., Блохин С.А. Влияние скорости истечения гетерофазного потока на физико-механические свойства электрометаллизационного потока. Сварочное производство. 2013;6:43-47.
12. Коломейченко А.В., Логачев В.Н., Литовченко Н.Н. Совершенствование оборудования и технологии при электродуговой металлизации. Образование, наука и производство. 2015;4 (13):27-32.
13. Литовченко Н.Н., Логачев В.Н. Пути совершенствования оборудования и технологии электродуговой металлизации. Тракторы и сельхозмашины. 2013;11:52-54.
14. Коломейченко А.В., Логачев В.Н., Измалков А.А. Перспективы использования электродуговой металлизации с аэрозольным флюсованием для восстановления коленчатых валов малогабаритной техники. Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2018;10:36-40.
15. Коломейченко А.В., Логачев В.Н., Измалков А.А. Способ нанесения покрытий электродуговой металлизацией. Патент на изобретение RU 2710093 C1, 24.12.2019. Заявка № 2019102435 от 29.01.2019.
16. Сергеев В.В., Куликов П.П. Восстановление коленчатых валов дизельных двигателей сверхзвуковой электродуговой металлизацией. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2008;10:37-40.
1. Boronenkov VN, Korobov YuS. Fundamentals of thermal spraying. Physical and chemical laws. Ye-katerinburg: Publishing House of Ural University; 2012.
2. Ivanov VP, Ivashko VS, Konstantinov VM, Lyalyakin VP, et al. Restoration and hardening of parts: monograph. Moscow: Nauka I Tekhnologii; 2013.
3. Chernoiivanov VI, Lyalyakin VP, Golubev IG. Organization and technology of restoration of machine parts. Moscow: Rosinformagrotekh; 2016.
4. Lyalyakin VP. Restoration of machine parts is an important direction of import substitution in the agro-industrial complex. Repair. Recovery. Modernization. 2019;9:3-5.
5. Litovchenko NN. A three-electrode electric arc metallising gun – innovation project. Welding International. 2016;30(7):560-562.
6. Litovchenko NN, Lyalyakin VP, Sablukov AS. Arc spraying pistol. Patent for invention RU 2220008 C1, 27.12.2003. no. 2002118457/12. 2002 Jul 11.
7. Lyalyakin VP, Murzaev VP, Slinko DB, Soloviev RYu. Physical and mechanical properties of coatings produced by thermal spraying with powdered wires. **Tekhnologiya Mashinostroeniya.** 2017;5:24-28.
8. Arc spraying pistol ЭДМ-5У [Internet]. Available from: http://www.firmatom.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=44&Itemid=40
9. Litovchenko NN, Petryakov BI. A device for measuring the pressure of a heterophase flow during thermal spraying. Proceedings of GOSNITI. 2012;109(2):112-116.
10. Denisov VI, Litovchenko NN, Logachev VN, Tol-kachev AA. A method for measuring the pressure of a heterophase flow during supersonic thermal spraying. Proceedings of GOSNITI. 2016;122:163-166.
11. Litovchenko NN, Petryakov BI, Tolkachev AA, Blokhin SA. Influence of heterophase flow velocity on the physical and mechanical properties of the thermal spraying flow. **Svarochnoe Proizvodstvo.** 2013;6:43-47.
12. Kolomeichenko AV, Logachev VN, Litovchenko NN. Improvement of equipment and technology for

- thermal spraying. *Science and Education*. 2015;4 (13):27-32.
13. Litovchenko NN, Logachev VN. Ways to improve the equipment and technology of thermal spraying. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2013;11:52-54.
14. Kolomeichenko AV, Logachev VN, Izmalkov AA. Prospects for the use of thermal spraying with aerosol fluxing for restoring crankshafts of small-sized

machinery. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya*. 2018;10:36-40.

15. Kolomeichenko AV, Logachev VN, Izmalkov AA. Method of coating by thermal spraying. Patent for the invention RU 2710093 C1, 12/24/2019. Application no. 2019102435. 2019 Jan 29.
16. Sergeev VV, Kulikov PR. Restoration of crankshafts of diesel engines by supersonic thermal spraying. *Sbornik v Mashinostroenii, Priborostroenii*. 2008;10:37-40.

Информация об авторах:

Коломейченко Александр Викторович, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом перспективных технологий управления центра сельскохозяйственного машиностроения Российской Федерации ФГУП «Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ» (ФГУП «НАМИ»), тел. 8(910)300023.

Горленко Александр Олегович, доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильный

транспорт» Брянского государственного технического университета, тел. +7(906)5014632.

Логачев Владимир Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Надежность и ремонт машин» Орловского государственного аграрного университета имени Н.В. Парахина», тел. 8(920)2877207.

Титов Николай Владимирович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Надежность и ремонт машин» Орловского государственного аграрного университета имени Н.В. Парахина, тел. +7(910)2693836.

Kolomeichenko Aleksandr Viktorovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Advanced Technologies Department at Central Research and Development Automobile and Engine Institute NAMI, phone: 8(910)300023.

Gorlenko Aleksandr Olegovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automobile Transport at Bryansk State Technical University, phone: +7(906)5014632.

Logachev Vladimir Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Reliability and Repair of Machines at Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, phone: 8(920)2877207.

Titov Nikolay Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Reliability and Repair of Machines at Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, phone: +7(910)2693836.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.

Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 01.04.2022; одобрена после рецензирования 04.03.2022; принята к публикации 06.04.2022. Рецензент – Анцев В.Ю., доктор технических наук, профессор кафедры «Подъемно-транспортные машины и оборудование» Тульского государственного университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 01.04.2022; approved after review on 04.03.2022; accepted for publication on 06.04.2022. The reviewer is Antsev V.Yu., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Handling Machinery and Equipment at Tula State University, member of the Editorial Board of the journal *Transport Engineering*.