

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR MECHANICAL AND PHYSICAL-TECHNICAL PROCESSING

Научная статья

УДК 621.791

DOI: 10.26730/1999-4125-2022-6-7-13

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СВЕРХЗВУКОВОЙ ГАЗОПОРШКОВОЙ НАПЛАВКИ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

Радченко Михаил Васильевич¹, Киселев Вадим Сергеевич^{1,2}

¹ ГАЦ АР НАКС

² Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

*для корреспонденции: ar_gac@mail.ru



Информация о статье

Поступила:

15 октября 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

01 декабря 2022 г.

Принята к публикации:

08 декабря 2022 г.

Ключевые слова:

Кавитационный износ,
нанесение защитных
покрытий, сверхзвуковая
газопорошковая наплавка,
самофлюсующиеся
порошковые сплавы

Аннотация.

В современных сложных санкционных условиях в машиностроении необходимо полное устранение зависимости от импортных технологий. Критически важным является повышение ресурса выпускаемого отечественного оборудования в различных сферах. В работе представлены результаты практического применения нового процесса сверхзвуковой газопорошковой наплавки (СГП-наплавки) самофлюсующихся порошковых сплавов на основе никель-хром-бор-кремний на торцевые и радиальные поверхности лопастей крыльчатки кавитационного насоса-измельчителя. Насос-измельчитель представляет из себя насос роторного типа, работающий в режиме кавитационного возмущения жидкости, что является условием эффективного измельчения и нагрева смеси жидких и твердых компонентов.

Характерным для СГП-наплавки сплавов на основе никель-хром-бор-кремний фракции 40...100 мкм является образование наплавленного защитного покрытия со структурой, представляющей Ni-матрицу с равномерно распределенными карбидами. Это позволяет увеличить износостойкость поверхностей оборудования в 8...12 раз. Следует отметить, что порошковые высоколегированные сплавы фракции более 40 мкм выпускаются отечественными производителями, что определяет полную независимость от импортных материалов. Результаты комплексного анализа процесса нанесения защитных покрытий способом сверхзвуковой газопорошковой наплавки позволили выделить рациональные режимы наплавки на наиболее подверженные износу поверхности деталей кавитационного оборудования

Для цитирования: Радченко М.В., Киселев В.С. Практическое использование технологии сверхзвуковой газопорошковой наплавки износостойких покрытий // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 6 (154). С. 7-13. doi: 10.26730/1999-4125-2022-6-7-13



Рис. 1. Общий вид кавитационного насоса-измельчителя

Fig. 1. General form of the cavitation chopper pump



Рис. 2. Общий вид крыльчатки кавитационного насоса-измельчителя

до наплавки защитного покрытия

Fig. 2. General form of the cavitation chopper pump

примере повышения ресурса серийно выпускаемого кавитационного насоса-измельчителя. Насос-измельчитель, широко используемый в сельском хозяйстве, позволяет кардинально изменить систему откорма животных и снизить себестоимость продукции (Рис. 1).

Однако кавитационный механизм измельчения отходов зернопроизводства в жидкие или твердые корма одновременно обуславливает чрезвычайно интенсивный износ лопастей основного узла установки – крыльчатки (Рис. 2).

В качестве практического примера использования преимуществ процесса износостойкой

Высокие механические и тепловые нагрузки, воздействие различных агрессивных сред на детали, сопровождающие работу технологического оборудования, вызывают износ и повышенный риск возникновения аварий и техногенных катастроф в машиностроении и энергетике. Важнейший показатель надежности и долговечности оборудования – состояние поверхностного слоя его деталей, так как разрушение конструкционного материала начинается с его поверхности. В настоящее время активно изучается и развивается процесс напыления защитных покрытий сверхзвуковыми газовыми струями. В этом процессе используются напылительные порошки фракцией до 10 мкм, производимые исключительно за рубежом. Однако, как известно, все процессы напыления имеют существенный недостаток, ограничивающий их промышленное применение – вероятность отслоения покрытия из-за его относительно низкой прочности сцепления с основой.

Кардинально решить эту проблему возможно с помощью замены напылительных процессов наплавкой износостойких материалов, в частности, новым эффективным процессом – сверхзвуковой газопорошковой наплавкой (СПП-наплавкой). Отличительной технологической особенностью СПП-наплавки является более высокая концентрация энергии газопламенного источника нагрева при увеличении скорости истечения газовых потоков на срезе сопла газопламенной установки. При этом влияние характеристик самого пламени на свойства наплавляемого защитного покрытия является очевидным.

Технология СПП-наплавки показала свою эффективность на

Таблица 1. Технические рекомендации по СГП-наплавке
Table 1. Technical recommendations for a SGP-surfacing process

Диапазон давлений рабочих газов	Кислород: 5...5,5 атм. Пропан: 1,0...1,5 атм.
Расход рабочих газов	Кислород: 1,9...6,5 л/мин. Пропан: 1,5...5 л/мин.
Коэффициент β соотношения рабочих газов	1,1...1,3
Рабочее расстояние L от среза сопла до наплавляемого изделия	20...30 мм
Порошковый сплав	система Ni-Cr-B-Si, марки ПГ-СРЗ
Фракция порошкового сплава	40...100 мкм
Производительность порошкового питателя	50 г/мин
Скорость перемещения горелки	3...5 мм/с

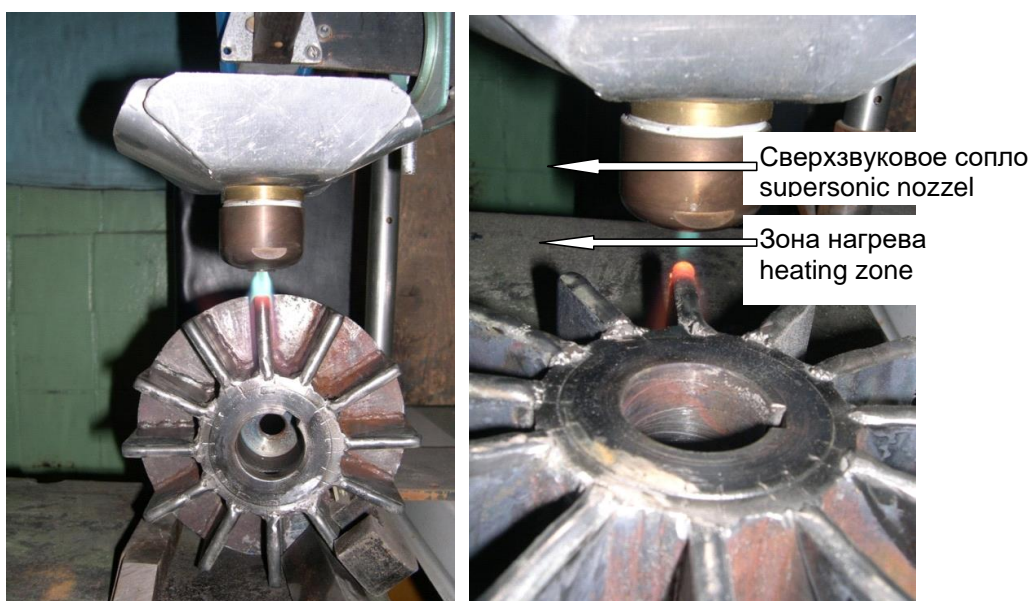


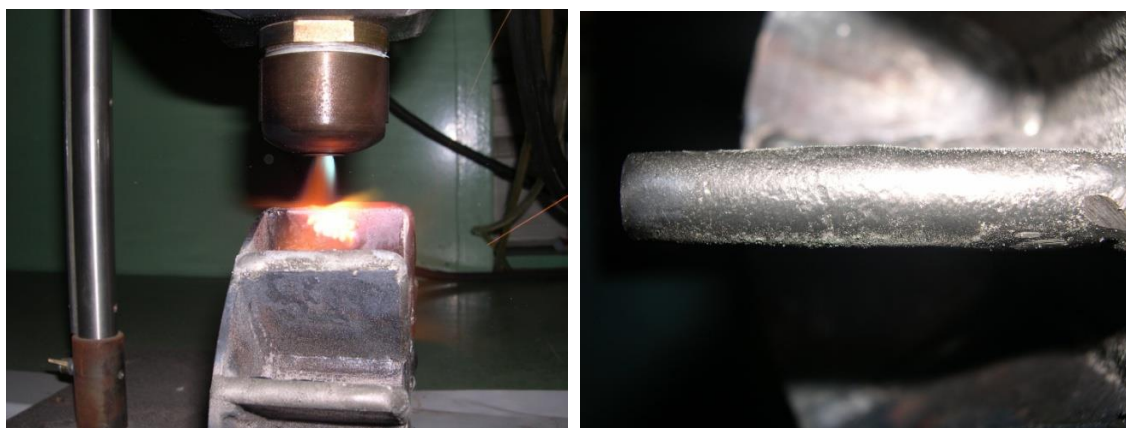
Рис. 3. Сверхзвуковая газопорошковая наплавка крыльчатки
Fig. 3. Supersonic gas-powder surfacing of cavitation chopper pump impellers blades

СГП-наплавки выполнен комплекс работ по наплавке порошкового сплава ПГ-СРЗ на торцевые и радиальные поверхности лопастей крыльчатки, наиболее подверженные гидроабразивному кавитационному износу. Ниже приведены характеристики крыльчатки:

- ширина каждой лопасти – 8 мм;
- длина торцевой поверхности – 50 мм;
- длина радиальной поверхности – 45 мм;
- число лопастей в одной крыльчатке – 12 штук;
- конструкционный материал крыльчатки – сталь 45.

Предварительные расчеты показали, что площадь поверхности лопасти, на которую производится наплавка, составляет $S = 91,2 \text{ см}^2$, а максимальный объем наплавленного покрытия при высоте наплавки 3 мм на одну крыльчатку составляет $V = 27,36 \text{ см}^3$. Наплавка всех плоскостей крыльчатки выполнялась в нижнем положении (Рис. 3).

При наплавке производился нагрев поверхности лопасти до явления запотевания (температура поверхности на 50-100°C выше температуры плавления стали) в течение 8...10 секунд на расстоянии 20 мм, далее рабочее расстояние увеличивалось на 5...7 мм, осуществлялась подача порошка, и производилось формирование наплавленного валика перемещением горелки вдоль лопасти в течение 12...15 секунд. Таким образом, время нагрева и наплавки одной поверхности лопасти крыльчатки без учета времени охлаждения составляет 20...25 секунд.



а) б)
Рис. 4. Общий вид крыльчатки насоса-измельчителя:
а) в процессе СГП-наплавки защитных износостойких покрытий;
б) после СГП-наплавки

Fig. 4. General form of the cavitation chopper pump impellers blades: a) in the SGP-surfacing process of protective wear-resistant coatings; b) after SGP-surfacing

Технические рекомендации по СГП-наплавке сплавов системы Ni-Cr-B-Si на торцевые и радиальные поверхности лопастей крыльчатки кавитационного насоса-измельчителя приведены в таблице 1.

Данные технологические параметры позволили получить равномерное по длине и ширине покрытие толщиной до 3 мм (Рис. 4).

С учетом результатов исследований, выполненных в течение последних трех лет, гарантировано увеличение износостойкости наплавленных покрытий, составляющее 6-8 раз по сравнению со сталью 45.

При этом условии промежуточная оценка экономической эффективности выполненной работы показала следующее. Поскольку межремонтный период кавитационных насосов с незащищенными поверхностями крыльчатки составляет 6 месяцев, то после СГП-наплавки ожидаемое увеличение межремонтного периода составит порядка 4 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радченко М. В., Радченко Т. Б., Шевцов Ю. О., Киселев В. С. Аддитивные технологии наплавки. Состояние и перспективы развития // Сварка и диагностика. 2017. №4. С. 38–42.
2. Радченко М. В., Шевцов Ю. О., Радченко Т. Б., Киселев В. С. Создание комбинированных многофункциональных покрытий на основе сплавов системы Ni-Cr-B-Si и наноструктурированных материалов // Сварка и диагностика. 2021. №5. С. 48-50.
3. Radchenko M. V., Mihajlov I. S., Radchenko T. B., Uvarova S. G. The comparative analysis of electron beam cladding in vacuum and gas flame powder cladding. 9 Int.Conf. on Electron beam techn. Varna,Bulgaria. 2009. P.73-78.
4. Маньковский С. А. Повышение эксплуатационной стойкости поверхностей элементов котлов «кипящим слоем» путем создания защитных покрытий сверхзвуковой газопорошковой наплавкой: дис.канд. техн. наук / Барнаул, 2008. 158 с.
5. Fisher R. A. The Design of Experiments. 6-th ed, London, Oliver and Boyd, 1951.
6. Box G. E. P., Wilson K. B. On the Experimental Attainment of Optimum Conditions. J. Roy. Statist. Soc., Ser.B. 1951. 13. №1.
7. Патент № 2037336 Россия, МПК В05В7/20. Установка для сверхзвукового газопламенного напыления / Воронежский А. В., Воронежская З. И., Адамов Б. С., Адамова С. С., Рачеткина А. И., Бабченкова Н. Н.; заявл. 29.12.1992; опубл. 19.06.1995.
8. Мальцев В. М., Мальцев М. И., Кашпоров Л. Я. Основные характеристики горения. М. : Химия. 1977. 320 с.
9. Харламов Ю. А. Газотермическое напыление покрытий и экологичность производства, эксплуатации и ремонта машин. // Тяжелое машиностроение. 2000. № 2. С. 10–13.
- 10.Коробов Ю. С. Повышение срока службы деталей сверхзвуковым газопламенным напылением // Тяжелое машиностроение. 2006. № 7. С. 34–36.
- 11.Коробов Ю. С, Девятьяров М. С. Оборудование газопламенного сверхзвукового нанесения покрытий, применение покрытий. Уральский государственный технический университет-УПИ, ЗАО «НПП «Машпром»,

2013. Режим доступа: https://mashprom.ru/press/publication/_aview_b7/

12. Харламов О. А. Экономика применения защитных и упрочняющих покрытий // Вестник машиностроения. 1982. № 7. С. 62 – 64.

13. Фролов В. А., Поклад В. А., Рябенко Б. В., Викторенков Д. В., Шимбирев П. А. Технологические особенности нанесения покрытий методом HVOF на элементы газотурбинных двигателей // Сварочное производство. 2003. №11. С. 23-30.

14. Балдев Л. Г. Реновация и упрочнение деталей машин методами газотермического напыления. М. : КХТ, 2004. 134 с.

15. Кравченко И. Н. Технологические процессы в техническом сервисе машин и оборудования. М. : ИНФРА-М. 2020. 346 с.

© 2022 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Радченко Михаил Васильевич, доктор техн. наук, профессор, директор ООО «ГАЦ АР НАКС», (656043, г. Барнаул, ул. Анатолия, д. 103а)

Киселев Вадим Сергеевич, руководитель АЦСНК-20 ООО «ГАЦ АР НАКС» (656043, г. Барнаул, ул. Анатолия, д. 103а), канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», (656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46), e-mail: ar_gac@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Радченко Михаил Васильевич – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Киселев Вадим Сергеевич – постановка исследовательской задачи, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

PRACTICAL ASPECTS OF SUPERSONIC GAS-POWDER SURFACING TECHNOLOGY FOR WEAR-RESISTANT COATINGS

Mikhail V. Radchenko¹, Vadim S. Kiselev^{1,2}

¹ GATS AR NAKS

² Altai State Technical University named after I.I. Polzunov

*for correspondence: ar_gac@mail.ru



Article info

Submitted:

15 October 2022

Approved after reviewing:

01 December 2022

Accepted for publication:

08 December 2022

Keywords: Cavitation chopper pump, supersonic gas-powder

Abstract.

It is extremely necessary to exclude completely the dependence on imported technologies due to sanctions conditions in mechanical engineering. It is critically important to increase the service life of manufactured domestic equipment in various fields. The paper presents the results of the practical application of a new process of supersonic gas-powder surfacing (SGP-surfacing) of self-fluxing powder alloys based on nickel-chromium-boron-silicon on the butt and radial surfaces of the cavitation chopper pump impellers blades. The cavitation chopper pump is a rotary type pump operating in the mode of liquid cavitation disturbance, which is a condition for efficient grinding and heating of a mixture of liquid and solid components.

The formation of a deposited protective coating with a nickel-chromium-boron-silicon structure and uniformly distributed carbides is characteristic for the SGP-surfacing of alloys at fraction of 40...100 microns. Such structure

surfacing, self-fluxing powder alloys makes it possible to increase the wear resistance of equipment surfaces by 8...12 times. It should be noted that powder high-alloy alloys with a fraction of more than 40 microns are produced by domestic manufacturers, which determines complete independence from imported materials. As a result of complex investigations rational modes of supersonic gas-powder surfacing are determined.

For citation: Radchenko M.V., Kiselev V.S. Practical aspects of supersonic gas-powder surfacing technology for wear-resistant coatings. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2022; 6(154):7-13. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.26730/1999-4125-2022-6-7-13

REFERENCES

1. Radchenko M.V., Radchenko T.B., Shevcov Yu.O., Kiselev V.S. Additivnye tekhnologii naplavki. Sostoyanie i perspektivy razvitiya. *Svarka i diagnostika*. 2017; 4:38–42.
2. Radchenko M.V., Shevcov Yu.O., Radchenko T.B., Kiselev V.S. Sozdanie kombinirovannykh mnogofunktsional'nykh pokrytij na osnove splavov sistemy Ni-Cr-B-Si i nanostrukturirovannykh materialov. *Svarka i diagnostika*. 2021; 5:48-50.
3. Radchenko M.V., Mihajlov I.S., Radchenko T.B., Uvarova S.G. The comparative analysis of electron beam cladding in vacuum and gas flame powder cladding. *9 Int. Conf. on Electron beam techn.* Varna, Bulgaria. 2009. P.73-78.
4. Man'kovskij S.A. Povyshenie ekspluatacionnoj stojkosti poverhnostej elementov kotlov «kipyashchim sloem» putem sozdaniya zashchitnykh pokrytij sverhzvukovoj gazoporoshkovoj naplavkoj: dis.kand. tekhn. nauk. Barnaul, 2008. 158 s.
5. Fisher R.A. The Design of Experiments. 6-th ed, London, Oliver and Boyd, 1951.
6. Box G.E.P., Wilson K.B. On the Experimental Attainment of Optimum Conditions. *J. Roy. Statist.Soc., Ser. B*. 1951; 13(1).
7. Patent № 2037336 Rossiya, MPK V05V7/20. Ustanovka dlya sverhzvukovogo gazopla mennogo napyleniya / Voroneckij A.V., Voroneckaya Z.I., Adamov B.S., Adamova S.S., Ratchetkina A.I., Babchenkova N.N.; zayavl. 29.12.1992; opubl. 19.06.1995.
8. Mal'cev V.M., Mal'cev M.I., Kashporov L.Ya. Osnovnye karakteristiki gorenija. M.: Himiya; 1977. 320 s.
9. Harlamov Yu.A. Gazotermicheskoe napylenie pokrytij i ekologichnost' proizvodstva, ekspluatatsii i remonta mashin. *Tyazheloe mashinostroenie*. 2000; 2:10–13.
10. Korobov Yu.S. Povyshenie sroka sluzhby detalej sverhzvukovym gazoplammennym napyleniem. *Tyazheloe mashinostroenie*. 2006; 7:34–36.
11. Korobov Yu.S., Devyat'yarov M.S. Oborudovanie gazoplammennogo sverhzvukovogo nanoseniya pokrytij, primeneniye pokrytij. Ural'skij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet-UPI, ZAO «NPP «Mashprom», 2013. Rezhim dostupa: https://mashprom.ru/press/publication/_aview_b7/
12. Harlamov O.A. Ekonomika primeneniya zashchitnykh i uprochnyayushchih pokrytij/ *Vestnik mashinostroeniya*. 1982; 7: 62–64.
13. V.A. Frolov, V.A. Poklad, B.V. Ryabenko, D.V. Viktorenkov, P.A. Shimbirev Tekhnologicheskie osobennosti nanoseniya pokrytij metodom HVOF na elementy gazoturbinnnykh dvigatelej. *Svarochmoe proizvodstvo*. 2003; 11:23–30.
14. Baldev L.G. Renovaciya i uprochnenie detalej mashin metodami gazotermicheskogo napyleniya. M.: KKHT; 2004. 134 s.
15. Kravchenko I.N. Tekhnologicheskie processy v tekhnicheskome servise mashin i oborudovaniya. M.: INFRA-M; 2020. 346 s.

© 2022 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Mikhail V. Radchenko, Dr. Sc. in Engineering, Professor, Director of Private company "GATS AR NAKS", (656043, Barnaul, Anatolia str., 103a)

Vadim S. Kiselev, head of ATSSNK-20 LLC "GATS AR NAKS", (656043, Barnaul, Anatolia str., 103a), C. Sc. in Engineering, Associate Professor of the Altai State Technical University named after I.I. Polzunov", (656038, Barnaul, Lenin Ave., 46), e-mail: ar_gac@mail.ru

Contribution of the authors:

Mikhail V. Radchenko – formulation of a research task, scientific management, review of relevant literature, conceptualization of research, data collection and analysis, conclusions, writing a text.

Vadim S. Kiselev – formulation of a research task, review of relevant literature, conceptualization of research, data collection and analysis, conclusions, writing a text.

All authors have read and approved the final manuscript.

