

**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

УДК 621.791

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЙ,
ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДАМИ ГАЗОПОРОШКОВОЙ И
СВЕРХЗВУКОВОЙ ГАЗОПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКИ**

© 2016 Т.А. Литвинова, А.А. Мецлер, Р.В. Пирожков

Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

Данная работа является продолжением исследований защитных покрытий, выполненных методом газопорошковой наплавки и сверхзвуковой газопорошковой наплавки с целью изучения способности материала сопротивляться воздействию абразивных частиц. Для этого были выполнены сравнительные исследования наплавленных сплавов на сопротивление механическому изнашиванию. Образцы с наплавленным покрытием вырезались, согласно требованиям, прямоугольной формы размером 4 x 5 x 10 мм, с материалом наплавки толщиной $h_{1,2}=1,0-1,2$ мм и $h_{3,4}=1,5-1,7$ мм на торце. Эталонные образцы – предварительно закаленные по стандартной методике (нагрев до 850 °С, выдержка 2 мин, охлаждение; твердость при закалке в воде HRC 62, в масле HRC 54).

Статическая нагрузка на образец с данной площадью составляла 8,75 кг/см². Величина весового износа ΔU определялась взвешиванием до и после испытаний на лабораторных аналитических весах с точностью $2 \cdot 10^{-4}$ г (тип ВЛР-200). После каждого испытания образцы снимали, промывали, сушили. Испытания проводили при постоянной нагрузке $P = 400$ г.

При прочих равных условиях проведения испытаний образцы с предварительно проведённой сверхзвуковой газопорошковой наплавкой, обладают наилучшим сопротивлением абразивному износу, как результат, потеря массы образца в 3 раза меньше, чем в образце газопорошковой наплавки.

Исследования износостойкости в наплавленном покрытии, выполненные методами газопорошковой и сверхзвуковой газопорошковой наплавки выявили, что предпочтительным методом, изготовления образцов является сверхзвуковая газопорошковая наплавка.

Ключевые слова: сверхзвуковая газопорошковая наплавка, износостойкость, защитные покрытия, дозвуковая газопорошковая наплавка, абразивные частицы, оборудования атомных станций.

Поступила в редакцию 10.03.2016 г.

Условия эксплуатации технологического оборудования атомных станций характеризуются высокими тепловыми и механическими нагрузками, сопровождающимися воздействием агрессивных сред и приводящими к интенсивному износу рабочих поверхностей деталей, что, несомненно, является фактором повышенного риска возникновения техногенных катастроф. Поверхностные дефекты, вызванные абразивным износом или действием агрессивной рабочей среды, приводят к потере работоспособности деталей и выходу из строя оборудования в целом. Таким образом, качественное состояние поверхностного слоя деталей является

одним из превалирующих показателей надёжности и долговечности работы оборудования.

Наряду с традиционными методами восстановления деталей, такими как плазменная и электродуговая наплавки, в последнее время всё более активно развивается газопорошковая (ГПН) и сверхзвуковая газопорошковая (СГПН) наплавки, успешная применимость и экономическая эффективность которых показаны в [1, 2].

В работах [3-4] рассмотрены комплексные металлографические исследования структуры и свойств защитных покрытий, выполненных методом газопорошковой наплавки (ГПН) и сверхзвуковой газопорошковой наплавки (СГПН). Данная работа является продолжением исследований с целью изучения способности материала сопротивляться воздействию абразивных частиц. Для этого были выполнены сравнительные испытания наплавленных сплавов на сопротивление механическому изнашиванию.

Для исследований была подготовлена серия образцов, состоящих из основного материала и покрытий с различной толщиной ($h=1,0-1,2$ мм; $h=1,5-1,7$ мм), выполненные методами газопорошковой и сверхзвуковой газопорошковой наплавки [5].

В качестве основного материала использовали порошковую сталь, полученную методом электроконтактного уплотнения (ЭКУ). Методика проведения ЭКУ и лабораторная установка описаны в [6-10]. Наплавочный материал у образцов использовался самофлюсующийся сплав ПГ-СРЗ.

Испытания образцов на износостойкость проводились согласно ГОСТ 17367-71. Для исследования износостойкости наплавленных покрытий была выбрана схема изнашивания неподвижно-закрепленными частицами.

В качестве абразивного материала использовалась абразивная шкурка 6-Н 14А ГОСТ 13344-79. Для оценки характеристик покрытия, использовалась универсальная установка МИ-1М.

Образцы с наплавленным покрытием вырезались, согласно требованиям, прямоугольной формы размером 4 x 5 x 10 мм, с материалом наплавки толщиной $h_{1,2}=1,0-1,2$ мм, $h_{3,4}=1,5-1,7$ мм на торце. Эталонные образцы, предварительно закаленные по стандартной методике (нагрев до 850 °С, выдержка 2 мин, охлаждение; твердость при закалке в воде HRC 62, в масле HRC 54).

Статическая нагрузка на образец с данной площадью должна составлять 8,75 кг/см².

Величина весового износа ΔU определялась взвешиванием до и после испытаний на лабораторных аналитических весах с точностью $2 \cdot 10^{-4}$ г (тип ВЛР-200). После каждого испытания образцы снимали, промывали, сушили.

Исследовали износостойкость дозвуковой и сверхзвуковой газопорошковой наплавки. Испытания проводили при постоянной нагрузке $P = 400$ г.

Результаты исследований представлены на графики зависимостей износа металла от времени.

Из графика зависимости износа металла от времени, видно, что при равных условиях испытания о жестко закрепленные абразивные частицы образец сверхзвуковой газопорошковой наплавки, обладает наилучшими характеристиками износостойкости, поэтому потеря массы образца СГПН в 3 раза меньше потери массы образца ГПН.

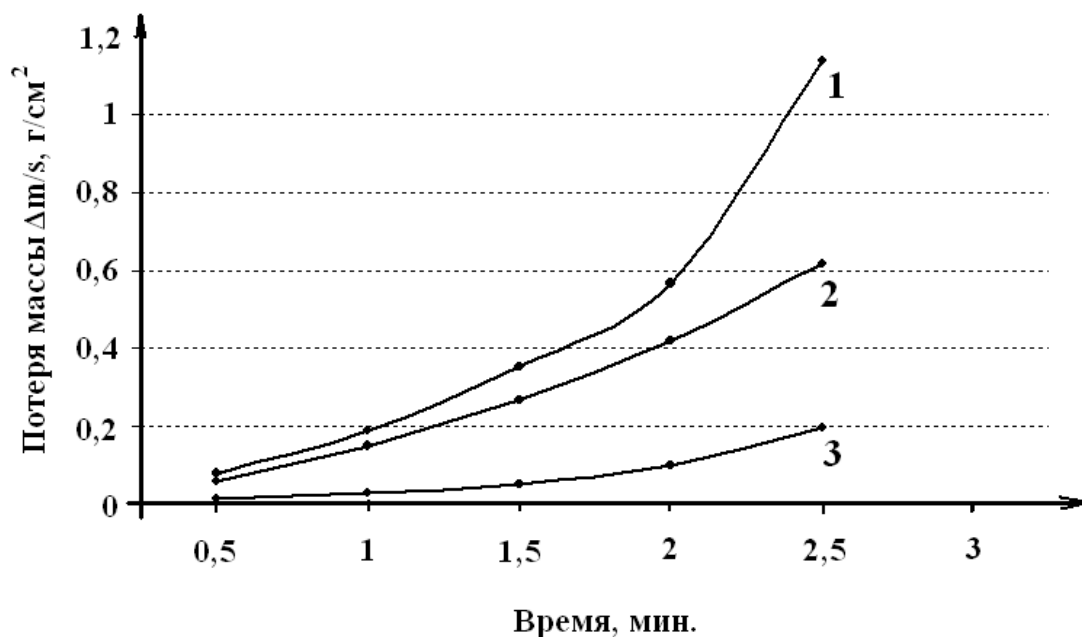


Рис. 1. – Графики зависимости износа металла от времени:
1 – сталь 45; 2 – ГПН; 3 – СГПН

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьянц, А.Г. и др. Технологические процессы лазерной обработки [Текст] / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюров : учеб. пособие для вузов. Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 664 с.
2. Киселев, В.С. Повышение износостойкости наплавленных покрытий путём выбора рациональных технологических параметров на основе диагностики сверхзвуковых газопорошковых струй : автореф. дис. канд. техн. наук [Текст] / В.С. Киселев. – Барнаул: Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова, 2009. – 21 с.
3. Литвинова, Т.А. и др. Металлографические исследования структуры защитных покрытий, выполненных методом газопорошковой наплавки [Электронный ресурс] / Т.А. Литвинова, Д.В. Могилевский, Н.Н. Подрезов, С.Н. Егоров, Р.В. Пирожков // Инженерный вестник Дона : сетевой журн. – 2014. – №3. – Режим доступа: URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2454 – 10.03.2016.
4. Литвинова, Т.А. и др. Исследование структуры защитных покрытий, выполненных методом сверхзвуковой газопорошковой наплавки [Текст] / Т.А. Литвинова, Д.В. Могилевский, Е.И. Колоколов, А.А. Мещлер, Н.Н. Подрезов // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – №3(12). – С. 61–64.
5. Литвинова Т.А., Постой Л.В., Мещлер А.А., Могилевский Д.В. Определение карбидной составляющей защитных покрытий, выполненных дозвуковой и сверхзвуковой газопорошковой наплавкой [Электронный ресурс] / Т.А. Литвинова, Л.В. Постой, А.А. Мещлер, Д.В. Могилевский // Инженерный вестник Дона. – 2015. – №2. – Ч. 2. – Режим доступа: URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/2873 – 10.03.2016.
6. Литвинова, Т.А. и др. Закономерности уплотнения и гомогенизации порошковой стали при ее формировании методом электроконтактного уплотнения [Электронный ресурс] / Т.А. Литвинова, С.Н. Егоров, Г.А. Шуваев, Х.К. Ризаев // Инженерный вестник Дона. – 2015. – №1. – Режим доступа: URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2792 – 10.03.2016.
7. Litvinova T.A., Egorov S.N. The influence of production modes of the electrocontact compaction on the porosity of the powder steel. Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2011, Vol. 52, №1, ISSN: 1067-8212, DOI: 10.3103/S1067821211010135, pp. 101–102.
8. Litvinova T.A., Egorov S.N. Features of powder steel formation with electric-contact compaction // Metallurgist. 2013, Vol. 57, №3–4, ISSN 0026-0894, DOI: 10.1007/s11015-013-9735-8, pp. 342–345.
9. Litvinova T.A., Egorov S.N. Mechanical properties of powder steel prepared by electrical contact compaction // Metallurgist. 2010, Vol. 54, №1–2, ISSN 0026-0894, DOI: 10.1007/s11015-010-9254-9, pp. 57–61.

10. Litvinova T.A., Egorov S.N. Effect of Iron Powder Preparation Method on Powder Steel Compact Formation During Electric-Contact Compaction // *Metallurgist*. 2015, Vol. 59, №1, ISSN 0026-0894, DOI: 10.1007/s11015-015-0090-9, pp. 57-60.

REFERENCES

- [1] Grigoryants A.G., Shiganov I.N., Misyurov A.I. *Tekhnologicheskie protsessy lazernoy obrabotki* [Process laser machining processes]: uchebnoe posobie dlya vuzov [Textbook for High Schools]. Pod redaktsiey A.G. Grigoryantsa [Edited by A.G. Grigoryants]. M. Pub. MGTU im. N.E. Baumana [Publishing house of the Bauman MSTU], 2006, ISBN 5-7038-2701-9, 664 p. (in Russian)
- [2] Kiselev V.S. Povyshenie iznosostoykosti naplavlennykh pokrytiy putyem vybora ratsionalnykh tekhnologicheskikh parametrov na osnove diagnostiki sverkhzvukovykh gazoporoshkovykh struy [Increased wear resistance of coatings deposited by a choice of rational technological parameters on the basis of diagnostics of supersonic jets of gas-powder]: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [PhD thesis abstract in Engineering]. Barnaul. Pub. Altayskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet imeni I.I. Polzunova [Polzunov Altai State Technical University], 2009, 21 p. (in Russian)
- [3] Litvinova T.A., Mogilevskiy D.V., Podrezov N.N., Egorov S.N., Pirozhkov R.V. Metallograficheskie issledovaniya struktury zashchitnykh pokrytiy, vypolnennykh metodom gazoporoshkovoy naplavki [Metallurgical studies of the structure of protective coatings made by the method of gas-powder cladding] // *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering bulletin of Don], 2014, №3, ISSN 2073-8633. Available at: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2454> (in Russian)
- [4] Litvinova T.A., Mogilevskiy D.V., Kolokolov E.I., Metsler A.A., Podrezov N.N. Issledovanie struktury zashchitnykh pokrytiy, vypolnennykh metodom sverkhzvukovoy gazoporoshkovoy naplavki [Investigation of the structure of protective coatings, performed by the supersonic gas-powder cladding]. *Globalnaya yadernaya bezopasnost* [Global nuclear safety]. 2014, №3(12), ISSN 2305-414X, pp. 61–64. (in Russian)
- [5] Litvinova T.A., Postoy L.V., Metsler A.A., Mogilevskiy D.V. Opredelenie karbidnoy sostavlyayushchey zashchitnykh pokrytiy, vypolnennykh dozvukovoy i sverkhzvukovoy gazoporoshkovoy naplavkoy [Determination of the carbide component coatings made subsonic and supersonic gas-powder surfacing]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering bulletin of Don]. 2015, №2, Chast 2 [Part 2], ISSN 2073-8633, Available at: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/2873> (in Russian)
- [6] Litvinova T.A., Egorov S.N., Shuvaev G.A., Rizaev Kh.K. Zakonomernosti uplotneniya i gomogenizatsii poroshkovoy stali pri ee formirovaniy metodom elektrokontaktного uplotneniya [Laws of consolidation and homogenization of powder steel at its formation by electric-seal]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering bulletin of Don]. 2015, №1, ISSN 2073-8633, Available at: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2792> (in Russian)
- [7] Litvinova T.A., Egorov S.N. The influence of production modes of the electrocontact compaction on the porosity of the powder steel. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*. 2011, Vol. 52, №1, ISSN 1067-8212, DOI: 10.3103/S1067821211010135, pp. 101–102. (in English)
- [8] Litvinova T.A., Egorov S.N. Features of powder steel formation with electric-contact compaction // *Metallurgist*. 2013, Vol. 57, №3–4, ISSN 0026-0894, DOI: 10.1007/s11015-013-9735-8, pp. 342-345. (in English)
- [9] Litvinova T.A., Egorov S.N. Mechanical properties of powder steel prepared by electrical contact compaction // *Metallurgist*. 2010, Vol. 54, №1–2, ISSN 0026-0894, DOI: 10.1007/s11015-010-9254-9, pp. 57–61. (in English)
- [10] Litvinova T.A., Egorov S.N. Effect of Iron Powder Preparation Method on Powder Steel Compact Formation During Electric-Contact Compaction // *Metallurgist*. 2015, Vol. 59, №1, ISSN 0026-0894, DOI: 10.1007/s11015-015-0090-9, pp. 57–60. (in English)

Study of Wear-Resistance Coatings Obtained by Means of Supersonic Gas-powder and Gas-powder Surfacing

T.A. Litvinova, A.A. Metsler, R.V. Pirozhkov

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,
73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

* e-mail: bratsk_tanja@mail.ru ; ** e-mail: razvitie@zao-grant.ru ;

*** e-mail: RVPirozhkov@mephi.ru

Abstract – This work is continuation of researches of coatings made by the method of gas-powder surfacing and a supersonic gas-powder surfacing for the purpose of studying the ability of a material to resist the impact of abrasive particles. For this purpose there were performed a comparative study of weld alloys, the resistance to mechanical wear. Deposited coating samples were cut, according to the requirements, of rectangular shape measuring 4 x 5 x 10 mm, with a surfacing material of a thickness $h_{1,2}=1,0-1,2$ mm, and $h_{3,4}=1,5-1,7$ mm at the end. Reference samples were pre-seasoned by the standard method (heating to 850 ° C, exposure time 2 min, cooling; hardness during quenching HRC 62 in water, in oil HRC 54).

The static load on a sample of this size was 8,75 kg/cm². The value of ΔU wear weight was determined by weighing before and after tests on a laboratory analytical balance with an accuracy of $2 \cdot 10^{-4}$ g (type VLR-200). After each test the samples were removed, washed, dried. Tests were carried out at constant load $P = 400$ g.

Under other equal conditions of testing samples from previously conducted a supersonic gas-powder surfacing, have the best resistance to abrasive wear, as a result, the weight loss of the sample is 3 times less than in the sample of gas-powder surfacing.

Study of wear-resistance in the weld coating methods and powder supersonic gas-powder surfacing has revealed that the preferred method, producing samples is a supersonic gas-powder surfacing.

Keywords: supersonic gas-powder surfacing, wear-resistance, protective coatings, subsonic gas-powder surfacing, abrasive particles, equipment of nuclear power plants.