

## Металлографические исследования структуры защитных покрытий, выполненных методом газопорошковой наплавки

Т.А. Литвинова<sup>1</sup>, Д.В. Могилевский<sup>1</sup>, Н.Н. Подрезов<sup>1</sup>, С.Н. Егоров<sup>2</sup>, Р.В. Пирожков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Волгодонский инженерно-технический институт-филиал*

<sup>2</sup>*Донской государственной технической университет, Волгодонский филиал*

**Аннотация:** Проведено комплексное металлографическое исследование структуры и свойств защитных покрытий, выполненных методом газопорошковой наплавки. Выполнен фазовый рентгеноструктурный анализ структурных составляющих для определения внутреннего состояния покрытия. Был проведен анализ представленных дифрактограмм и микроструктур.

**Ключевые слова:** газопорошковая наплавка, порошковая сталь, микроструктура, защитные покрытия.

Изнашивание рабочих поверхностей обуславливают необходимость развития новых способов поверхностного упрочнения и их практического использования, как при изготовлении, так и при ремонте и реконструкции узлов и деталей установок. Основная проблема поверхностного износа проявляется в теплоэнергетике, где интенсивному высокотемпературному газоабразивному износу подвергаются рабочие поверхности таких деталей, как котлы с «кипящим слоем», трубы пароперегревателей, колпачки трубных досок, элементы запорной арматуры и др.

При этом разработка и реализация новых технологических методов упрочнения представляет собой довольно сложную проблему, так как в каждом конкретном случае упрочнение поверхности детали требует индивидуальный подход при выборе того или иного способа наплавки и его технологических параметров.

Комплексные исследования позволят дать наиболее полное представление о свойствах защитного покрытия [1], поэтому целью настоящей работы является проведение комплексного металлографического

исследования структуры и свойств защитных покрытий, выполненных методом газопорошковой наплавки.

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

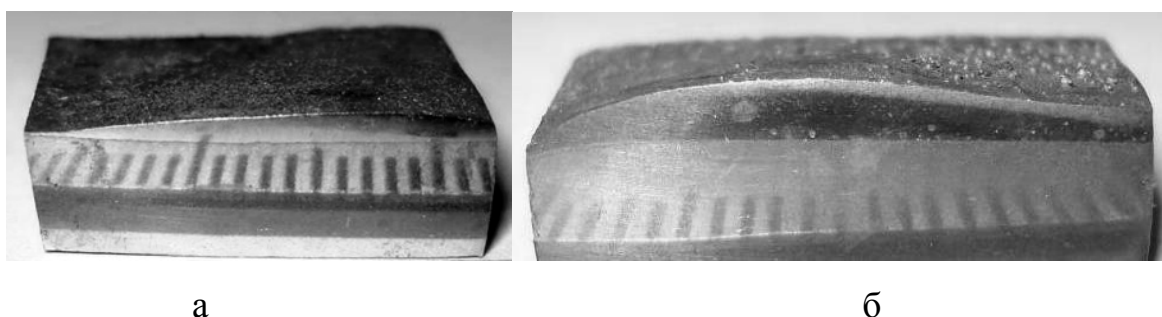


Рис.1 – Образцы для исследования

(высота защитного покрытия образцов: а -  $h = 1,0-1,2$ мм, б -  $h = 1,5-1,7$ мм)

В качестве основного материала использовали порошковую сталь, полученную методом электроконтактного уплотнения. Методика проведения ЭКУ и лабораторная установка описаны в [3-5].

В качестве исходных материалов для получения порошковой стали использовали порошки железа марки ПЖР 3.200.28 ГОСТ 9849-86 и графита карандашного марки ГК-1 ГОСТ 4404-78 [6]. Состав шихты выбирался с таким расчетом, чтобы в результате ЭКУ была получена сталь с содержанием углерода 0,45%, которая широко применяется в машиностроении [7].

В качестве наплавочного материала использовался самофлюсующийся сплав ПГ-СРЗ, химический состав которого приведен в таблице 1.

Таблица № 1

Химический состав самофлюсующегося сплава ПГ-СРЗ

МАССОВАЯ ДОЛЯ ЭЛЕМЕНТА, % <i>ВЕС</i>	
1	2
Никель	основа

---

Углерод	0,4-0,7
Хром	13,5-16,5
Кремний	2,5-3,5
Марганец	2,5
1	2
Вольфрам	0,2-0,4
Молибден	0,08-0,15
Бор	2,0-2,8
Железо	5,0

Для проведения микроструктурного анализа наплавленного покрытия из самофлюсующегося порошка ПГ-СРЗ, процесс изготовления образца включал в себя:

- Вырезку образца с покрытием. При вырезке образцов режущий инструмент двигался от покрытия к основному металлу, в противном случае увеличивалась вероятность отслоения покрытия из-за возникновения растягивающих напряжений. При этом образцы не нагревались до высоких температур, так как возникновение дополнительных напряжений, обусловленных градиентом температур, приводит к растеканию покрытия [8].

- Шлифование на абразивной шкурке с последующим травлением 30% раствором серной кислоты для удаления рисок, полирование и травление 4% раствором азотной кислоты в этиловом спирте.

Результаты исследования, полученные с использованием микроскопа МИМ-8 [9], показывают, что структура основного металла соответствует феррито-перлитной структуре (рис.2).

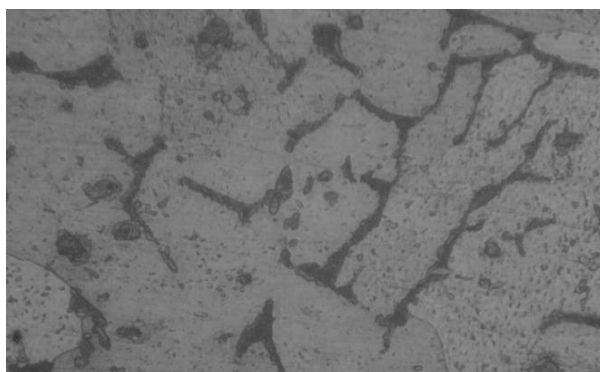


Рис. 2– Феррито-перлитная структура основного металла  $\times 500$



а

б

Рис.3 – Распределение карбидных составляющих и граница сплавления защитного покрытия и основного металла (высота защитного покрытия образцов: а -  $h = 1,0-1,2$ мм, б -  $h = 1,5-1,7$ мм)

Из рисунка 3 видно, что в покрытиях наблюдаются карбиды малых размеров неправильной геометрической формы. Они сосредоточены в основном в верхних слоях покрытия и располагаются равномерно по всему объему наплавки. Также металлографическим анализом установлено, что основа и защитное покрытие имеют узкую переходную зону. Образцы имеют достаточно ровные границы сплавления, что положительно сказывается на прочности соединения покрытия с основным материалом. Поэтому прочность сцепления наплавленных защитных покрытий с основным материалом сопоставима с уровнем металлической связи самого конструкционного материала.

Полного представления о свойствах защитного покрытия по данным микроскопии получить не представляется возможным, так как о покрытии можно судить лишь по внешнему виду. Поэтому как логическое продолжение исследований был выполнен фазовый рентгеноструктурный анализ структурных составляющих для определения внутреннего состояния покрытия.

Съемка рентгенограмм выполнялась с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН – 7 [10], с использованием монохроматического излучения изотопов кобальта и железа, что обеспечивало получение четких, неразмытых дифракционных пиков. Для идентификации фазовых составляющих использовалась трубка с кобальтовым анодом. Для поглощения  $\beta$ -излучения использовался  $\beta$ -фильтр. Поверхность наплавленного слоя подготовлена с помощью полирования. После подготовки образец закреплялся в специальную кювету. Далее кювета с образцом устанавливалась в дифрактометр, где наплавленный слой сканировался рентгеновским лучом (глубина сканирования – 0,1-0,3 мм). С помощью фазового рентгеноструктурного анализа предполагалось установить наличие  $\gamma$  – фазы на основе Ni; наличие карбидов  $Cr_3C_2$ ;  $Cr_7C_3$ ;  $Fe_3C$  и боридов.

**Режим съемки:** ток трубки  $I_{тр}=6$  мА, напряжение трубки  $U_{тр}= 26$  кВ; предел измерения –  $2\theta$ ; постоянная времени – 5; длина волны  $\lambda_{Ka}=1, 78892$  А°; скорость диаграммной ленты – 60 мм/ч (1 см/мин); скорость движения счетчика 1°/мин. Съемка проводилась в пределах угла  $2\theta=45^\circ-65^\circ$ .

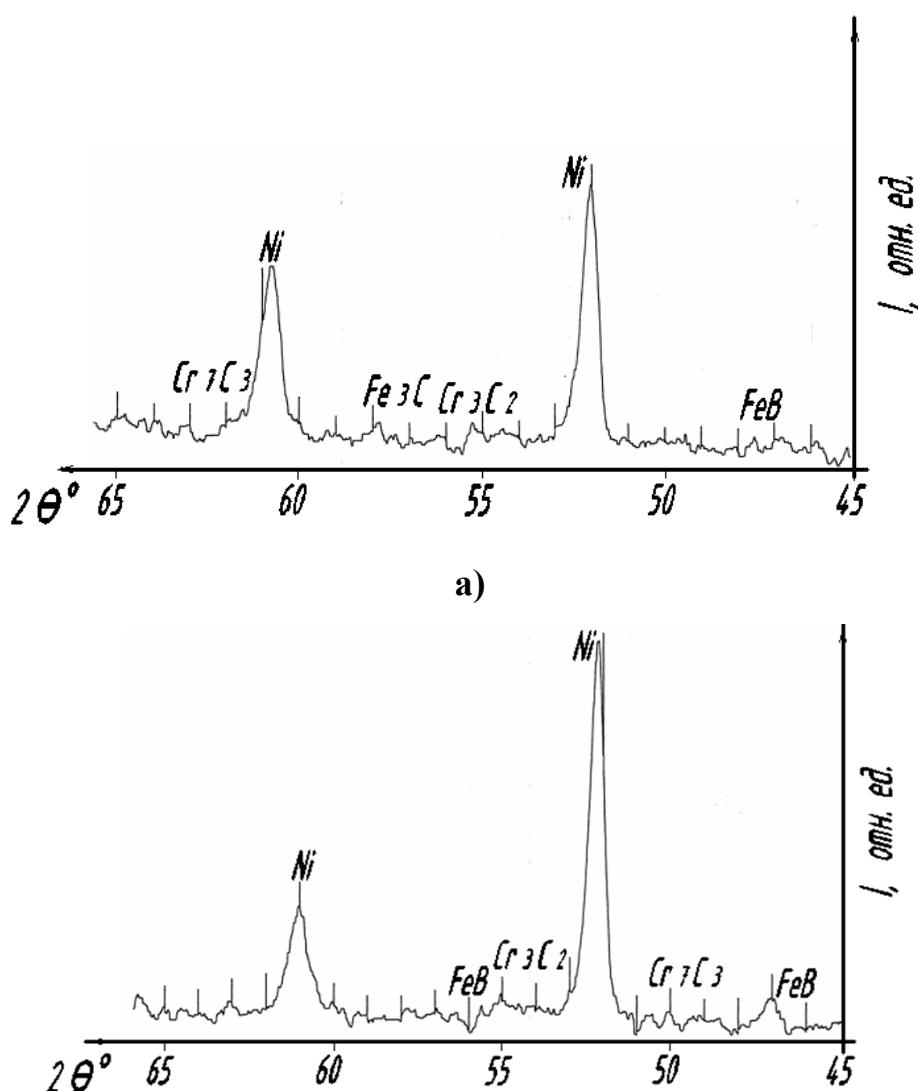


Рис. 4 – Фазовый состав защитных покрытий образцов (высота защитного покрытия образцов: а -  $h = 1,0-1,2$ мм, б -  $h = 1,5-1,7$ мм)

Анализ представленных дифрактограмм позволяет говорить о том, что в защитном покрытии, выполненном газопорошковой наплавкой, основным материалом является твердый раствор легирующих элементов в  $\gamma$ -Ni, также присутствуют карбиды типа  $Fe_3C$ ,  $Cr_3C_2$ ,  $Cr_7C_3$ .

По обобщенным результатам рентгеноструктурного анализа защитных покрытий можно сделать следующий вывод: на рентгенограммах образцов присутствует Ni – основы сплава (два характерных пика, на  $52^\circ$  и  $60,8^\circ$ ). Также в обоих образцах имеются следующие карбидные фазы -  $Fe_3C$ ,  $Cr_3C_2$ ,



Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, обеспечивающие заданные эксплуатационно-механические свойства наплавляемым покрытиям.

### Литература

1. Балдаев Л. Х. Реновация и упрочнение деталей машин методами газотермического напыления. М.: Изд-во КХТ, 2004. 134 с.
2. Хромов В.Н. От дозвукового к сверхзвуковому газопламенному напылению покрытий при восстановлении и упрочнении деталей машин (обзор) // Сварочное производство, 2001. №2. С.39-48.
3. Литвинова Т.А., Егоров С.Н. Механические свойства порошковой стали, полученной методом электроконтактного уплотнения // Металлург, 2010. № 1. С. 65-67.
4. Литвинова Т.А., Егоров С.Н. Закономерности формирования порошковой стали при электроконтактном уплотнении // Металлург, 2013. № 4. С. 94-97.
5. Литвинова Т.А., Егоров С.Н., Медведев Ю.Ю. Кристаллографические аспекты гомогенизации железуграфитовой композиции // Металлург, 2010. № 6. С. 40-42.
6. Litvinova, T.A., 2009. Production of high – density powder by electro contact compaction. Metallurgist, V.53, 7-8.
7. Litvinova, T.A. and S.N. Egorov, 2009. Powder steel formation under conditions of electric contact compaction. Russian Journal of Non – Ferrous Metals, 5: 522-524.
8. Фрумин И.И. Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавленный металл // Научная думка, 1977. №1. С. 13—17.
9. Панич А.Е., Свечкарев В.П., Олишевский Д.П. Центр коллективного пользования научным оборудованием «Высокие технологии» // Инженерный вестник Дона, 2007, №1. URL: [www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2007](http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2007)
10. Бойко Н.И., Фисенко К.С. Исследование качества поверхности наплавленного металла цилиндрической детали обработанной в горячем



состоянии// Инженерный вестник Дона, 2012, №2.  
URL:www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/746

### References

1. Baldaev L. Kh. Renovatsiya i uprochnenie detaley mashin metodami gazotermicheskogo napyleniya [Renovation and hardening of machine parts methods of thermal spraying]. M.: Izd-vo KKhT, 2004. 134 p.
2. Khromov V.N. Svarochnoe proizvodstvo, 2001. №2. pp.39-48.
3. Litvinova T.A., Egorov S.N. Metallurg, 2010. № 1. pp. 65-67.
4. Litvinova T.A., Egorov S.N. Metallurg, 2013. № 4. pp. 94-97.
5. Litvinova T.A., Egorov S.N., Medvedev Yu.Yu. Metallurg, 2010. № 6. pp. 40-42.
6. Litvinova T.A. Production of high – density powder by electrocontact compaction // Metallurgist, 2009. T.53, № 7-8.
7. Litvinova T.A., Egorov S.N. Powder steel formation under conditions of electric contact compaction // Russian Journal of Non – Ferrous Metals, 2009. T.50, № 5. C. 522-524.
8. Frumin I.I. Naukova dumka, 1977. №1. pp. 13—17.
9. Panich A.E., Svechkarev V.P., Olishevskiy D.P. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2007, №1. URL:www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2007
10. Boyko N.I., Fisenko K.S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №2. URL:www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/746