

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ПРОЦЕССА СГП-НАПЛАВКИ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ СПЛАВОВ

В.С. Киселев, М.В. Радченко, Г.В. Матохин, Т.Б. Радченко, Ю.О. Шевцов

*В статье представлены основные пути практического использования технологии с системой контроля и диагностики в промышленном производстве. Технология сверхзвуковой газопорошковой (СГП) наплавки с системой контроля и диагностики позволяет расширить спектр наносимых покрытий с применением комбинированных наноструктурированных материалов на основе карбидов хрома и вольфрама, а также технических алмазов на никелевом и кобальтовом связующем.*

*Ключевые слова: сверхзвуковая газопорошковая наплавка, контроль, диагностика*

Газодинамические методы нанесения защитных покрытий находят широкое применение при изготовлении новых и восстановлении изношенных деталей оборудования, к которым предъявляются особые требования по надежности и стойкости, например работающих в условиях абразивного или ударно-абразивного износа.

Одним из применений технологии газопорошковой наплавки является восстановление дефектов чугунного литья. На данный момент в промышленности газопорошковая наплавка производится вручную специальными наплавочными горелками типа Stoody JS-100, MST-100, ГН-5П, ГН-2У. В качестве рабочих газов используют ацетилен, пропан-бутан и кислород. Оборудование позволяет наплавлять самофлюсующиеся порошковые сплавы на основе никеля, кобальта и железа. При этом для увеличения твердости наплавленного покрытия в порошковый сплав добавляют до 80% карбида вольфрама. Такой состав порошкового сплава применяют обычно для защиты поверхностей деталей, работающих в условиях интенсивного износа [1, 2, 3].

На данный момент на рынке представлены разнообразные составы порошковых сплавов для наплавки и напыления как импортного, так и отечественного производства. Порошковые материалы на основе никеля STOODY (60 T.G., 85 T.G. и др.) применяют для создания наплавленных покрытий различного назначения – с исключительной стойкостью к абразиву, коррозии и высокой температуре; с высокой пластичностью и обрабатываемостью, и др. Порошковые материалы на основе никеля серии «Т-Термо» – для наплавки и напыления с оплавлением, «Т-Экзо» на основе никеля и композита Ni-Al – для газотермического напыления [2,3].

Отдельно следует отметить широко вне-

дряемые в промышленное производство автоматизированные и роботизированные комплексы сварки и наплавки электрической дугой с применением специальных наплавочных электродов. Роботизированная наплавка – это современный, новейший уровень производства, позволяющий ускорить работы и повысить качество своего производства, а также избежать производственного брака. Роботизированные комплексы наплавки позволяют упрочнять и восстанавливать конкретные детали в соответствии с технологическим процессом производства [4, 5].

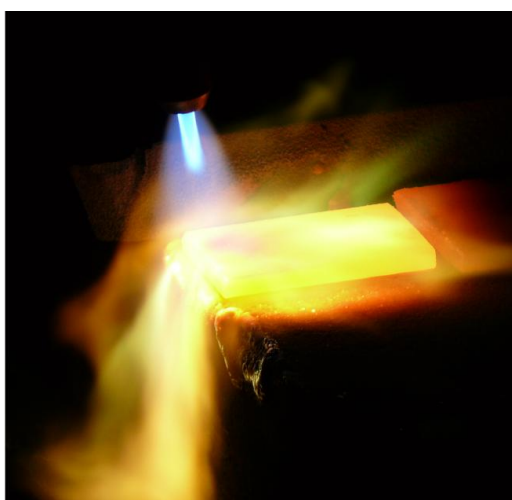
Таким образом, наиболее существенными недостатками способа газопорошковой наплавки является слабая степень автоматизации оборудования, нерешенные проблемы обеспечения стабильности качества наплавленного слоя при окислении и перегреве материала основы.

Одним из путей модернизации данного способа является увеличение концентрации мощности в пятне нагрева путем использования сверхзвуковых сопел (способ СГП-наплавки сплавов на основе Ni-Cr-B-Si) [6, 7]. Ввиду того, что высокие качественные показатели покрытия являются прямым следствием соблюдения основных технологических параметров процесса их нанесения, существует необходимость организации системы контроля и диагностики процесса СГП-наплавки. Данная система позволит в реальном времени отслеживать и при необходимости осуществлять корректирование либо изменение основных параметров нанесения покрытия [8].

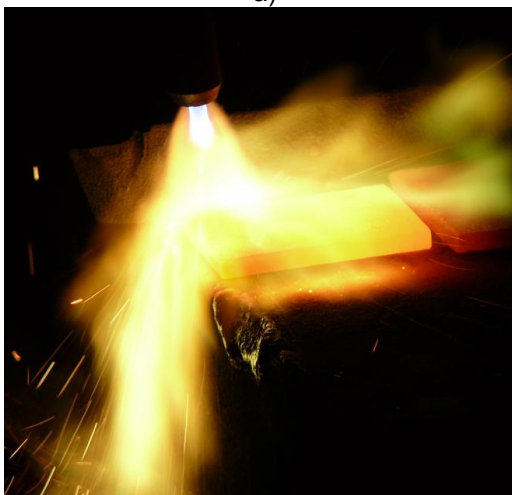
Наиболее простым и одновременно точным методом исследования газовых и газопорошковых струй является диагностика пламени по собственному излучению и световому потоку от порошковых частиц: оптическая эмиссионная спектроскопия, интеграль-

ные методы измерения скорости частиц и температуры, высокоскоростная фотосъемка и видео регистрация процесса и др.

В процессе сверхзвуковой и дозвуковой газопорошковой наплавки при подаче порошкового материала в газовое пламя наблюдается резкое увеличение интенсивности излучения в самом пламени атомов натрия Na и изотопа кислорода соответственно на длинах волн 589,6 нм и 754,2 нм–757,2 нм, что говорит о том, что при подаче порошка в сверхзвуковой газопорошковой струе происходит изменение условий возбуждения данных веществ – интенсивность излучения пламени увеличивается (рисунок 1) [8].



а)



б)

Рисунок 1 - Процесс дозвуковой наплавки сплава ПГ-СРЗ горелкой ГН-5П: а) прогрев подложки без порошкового сплава б) наплавка на прогретую подложку с подачей порошка

При внесении в пламя вольфрамового электрода интенсивность излучения потока также увеличивается (рисунок 2).



а)



б)

Рисунок 2 - Процесс сверхзвукового горения: а) газовый поток б) газовый поток с участком яркого свечения пламени при внесении вольфрамового электрода

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что в газопорошковых струях происходят химические и физические процессы, регистрация которых позволяет судить о качестве и характере как дозвукового, так и сверхзвукового горения кислородно-пропановой смеси.

Для создания системы контроля и диагностики при производстве СГП-наплавки основными исследуемыми характеристиками являются:

- температура газовой и газопорошковой смеси. Измеряется методами оптической пирометрии косвенно при помощи вольфрамового излучающего зонда для различной интенсивности и характера пламени (науглероживающее, нейтральное, окисляющее).

- температура и скорость пролёта порошковых частиц. Исследуется при помощи высокоскоростной фото- и видеосъемки процесса наплавки на различных технологических режимах, а также интегральными методами измерения.

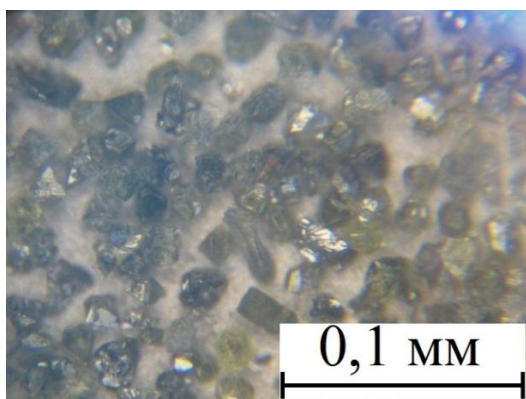
- температура наплавляемой подложки перед подачей порошка. Определяется путем снятия термометрии циклов нагрева подложки сверхзвуковой струей с различными значениями расхода рабочих газов и коэффициента их соотношения и охлаждения её с течением времени.

Технология СГП-наплавки с системой контроля и диагностики позволяет расширить спектр наносимых покрытий с применением

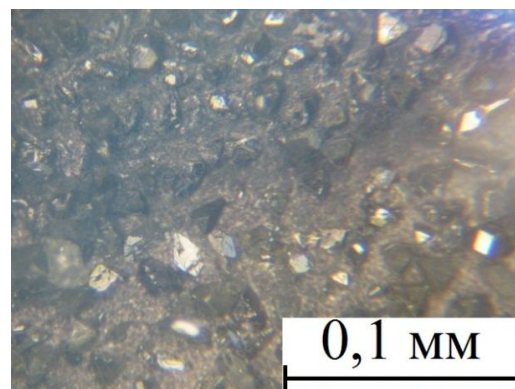
**ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК 1/1-2012**

комбинированных наноструктурированных материалов на основе карбидов хрома и вольфрама, а также технических алмазов на никелевом и кобальтовом связующем. Данные технологии позволяют применять способ СГП-наплавки не только с целью защиты изнашиваемых частей различного машиностроительного оборудования, но и для создания образцов инструментов металлообработки с заданными свойствами обрабатываемой поверхности – повышенной стойкостью к агрессивным средам, механическому и абразивному износу.

Созданные опытные образцы наплавленного покрытия сплава системы Ni-Cr-B-Si методом СГП-наплавки с последующим внедрением в поверхностный слой покрытия кластера алмазных зерен различных фракций (40/28, 50/40, 63/50) имеют отличительные свойства. Эти свойства характерны для никель-алмазных покрытий, полученных и другими методами (спеканием, гальваническим и др.). При этом важно отметить сочетание простоты нанесения покрытий с относительно низкой себестоимостью и материалоемкостью процесса наплавки. Насыщение никелевой матрицы алмазными зернами в процессе СГП-наплавки позволило получить новый тип комбинированных покрытий, сочетающих преимущества газопламенного и алмазно-гальванического покрытия. В этом случае материал основы сплавлен с покрытием, что позволило создать абсолютно монолитное соединение, а внедрение упрочняющей фазы в виде алмазов на порядок увеличило показатели твердости и износостойкости. На рисунке 3 приведены фотографии поверхностей никель-алмазных покрытий, полученных различными способами.



а)



б)

Рисунок 3 - Поверхности никель-алмазных покрытий, полученных способами: а) гальваническим б) СГП-наплавки

Следует отметить, что при сходных свойствах поверхности покрытие, полученное методом СГП-наплавки не имеет склонности к отслаиванию за счет образования химической связи с материалом основы, а также к выкрашиванию алмазов, так как при внедрении алмазов в покрытие при высокой температуре происходит преобразование алмаза в графит и его растворение в никелевой матрице с образованием тончайшего пограничного слоя между алмазным зерном и материалом покрытия.

Температурные характеристики пламени и измерение температуры нагрева подложки в процессе наплавки позволяют судить о качественном проплавлении материала основы и покрытия с внедренными алмазными зернами [9,10].

Исследование свойств покрытий, полученных СГП-наплавкой комбинированных материалов, а также апробирование на практике изделий с заданными свойствами наплавленной поверхности позволяет широко внедрять этот способ в различные отрасли промышленности. Характеристики наплавленных покрытий, на порядок превосходящие свойства других методов упрочнения и восстановления деталей позволяют получать высокие эксплуатационные характеристики готовых изделий при относительно низкой себестоимости.

Сочетание мобильности и низкой стоимости процесса СГП-наплавки делает его незаменимым при производстве работ непосредственно на ремонтируемом участке без необходимости транспортных расходов по перевозке ремонтируемого оборудования. Это особо актуально при ремонте котельного оборудования в удаленных районах сельской местности.

Наличие мобильного поста СГП-наплавки на промышленном предприятии гарантирует оперативность и низкие затраты при производстве и ремонте деталей с комбинационными покрытиями на основе системы Ni-Cr-B-Si. А система контроля и диагностики процесса наплавки в кратчайшие сроки позволит производить технологическую подготовку производства и выбор рациональных параметров процесса нанесения покрытий на основе композиционных материалов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://mctse.ru>.
2. <http://www.tehnap.ru>.
3. <http://thermadyne.fis.ru>.
4. <http://irobots.ru/naplavka>
5. <http://alfarobot.ru>.
6. Патент на полезную модель № 60410 Россия, МПК В22В 19/06. Устройство для сверхзвуковой газопорошковой наплавки /Радченко М.В., Шевцов Ю.О., Радченко Т.Б., Нагорный Д.А., Маньковский С.А.; заявл. 4.07.2006; опубл. 27.01.2007 в Б.И. № 3.
7. Разработка комплекса автоматизированного оборудования и технологии создания защитных покрытий на деталях котлов с «кипящим слоем»: Отчет о НИР по программе 3438р/5897 «СТАРТ-05»/ Радченко М.В., Шевцов Ю.О., Радченко Т.Б., Маньковский С.А., Нагорный Д.А., Черемисин П.В.// ООО «НИИ Высоких Технологий». Руководитель М.В.Радченко. Г.Р.№ 0120.0 509888. Инв. № 02.2.007 00277. Барнаул, 2006.- 82 с.
8. Киселев В.С. Повышение износостойкости наплавленных покрытий путем выбора рациональных технологических параметров на основе диагностики сверхзвуковых газопорошковых струй: дисс. канд. техн. наук: 05.02.10 / В.С. Киселев – Барнаул, 2010 г. – 129 с.

9. Радченко М.В., Киселев В.С., Шевцов Ю.О., Уварова С.Г., Радченко Т.Б., Радченко В.Г. Комплексная диагностика сверхзвуковых газовых струй в процессе газопорошковой наплавки износостойких покрытий// Сварка и диагностика, 2011.- №1.- С. 54-58.

10. Радченко М.В., Хомутов О.И., Радченко Т.Б., Шевцов Ю.О., Киселев В.С. «Анализ основных технологических параметров комбинированных способов создания защитных покрытий на деталях сельхозмашин // Ползуновский вестник, 2011.- № 2/2.- С. 236-243.

**Киселев В.С.**, к.т.н., ст. преп. каф. «Автоматизированный электропривод и электротехнологии», тел. 8(3852)290-864, e-mail: [smallal@inbox.ru](mailto:smallal@inbox.ru);

**Радченко М.В.**, зав. каф. «Малый бизнес в сварочном производстве», тел. 8(3852)290-765, e-mail: [mirad\\_x@mail.ru](mailto:mirad_x@mail.ru);

**Радченко Т.Б.**, д.т.н., проф., и.о. зав. каф. «Автоматизированный электропривод и электротехнологии», тел. 8(3852)290-864, e-mail: [rad\\_weld@mail.ru](mailto:rad_weld@mail.ru);

**Шевцов Ю.О.**, к.т.н., доц., проф. каф. «Малый бизнес в сварочном производстве», тел. 8(3852)290-765, e-mail: [yuoshevtsov@mail.ru](mailto:yuoshevtsov@mail.ru)

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,

**Матохин Г.В.**, д.т.н., проф., проф. кафедры «Оборудование и технология сварочного производства», 8(423)260-42-10, e-mail: [torgac@mail.ru](mailto:torgac@mail.ru)  
ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный технический университет», тел.