

УДК 621.793.7

А.Н. Михайлов<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф., А.Т. Цыркин<sup>2</sup>, канд. техн. наук,  
А.М. Петров<sup>2</sup>, В.В. Головятинская<sup>2</sup>, М.Г. Петров<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина

<sup>2</sup> Луганский филиал кафедры технологии машиностроения ДонНТУ,  
г. Луганск, Украина

Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: [tm@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:tm@mech.dgtu.donetsk.ua)

## ПОРОШКИ ДЛЯ ДЕТОНАЦИОННОГО НАПЫЛЕНИЯ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

*Изучены вопросы корректирования технологии изготовления порошков для детонационного напыления из отходов производства в зависимости от характеристики пластичности и гранулометрического состава порошков. Исследованы детонационные покрытия, нанесенные из полученных порошков. Установлена возможность использования для детонационного напыления порошков большего фракционного состава в зависимости от пластичности порошкового материала.*

**Ключевые слова:** стружка, шлифовальный шлам, шлак, порошок, детонационное напыление, покрытие.

A. Mikhaylov, A. Tsirkin, A. Petrov, V. Holovyatinskaya, M. Petrov

### POWDER FOR DETONATION SPUTTERING FROM INDUSTRIAL WASTE

*It was researched the questions of correction of powder technology production for detonation sputtering from industrial waste depending on plasticity characteristic and powder granulometric composition. It was researched detonation coatings, which were covered from gotten powders. It was established the opportunity of major factional composition usage for detonation sputtering depending on powder material plasticity*

**Key words:** corrugated slices, polishing sludge, slag, powder, detonation sputtering, covering.

### 1. Введение

Использование детонационных покрытий обеспечивает экономию сырья и материалов при изготовлении деталей машин и агрегатов, увеличивает их ресурс и надежность работы. Детонационное напыление не только обеспечивает повышение эксплуатационных характеристик обрабатываемых деталей, но также дает возможность формирования на поверхности деталей функционально-ориентированных детонационных покрытий, обладающих более качественными эксплуатационными характеристиками поверхностного слоя по отношению к детонационным покрытиям с однородными физико-химическими данными поверхностного слоя [1]. Взаимосогласованные по расположению участки функционально-ориентированного детонационного покрытия различаются химическим составом, числом и толщиной, типом переходной зоны, технологическими приемами и механизмом формообразования единичных слоев покрытия. Изготовление деталей с функционально-ориентированными детонационными покрытиями также обеспечивает рациональное использование дорогостоящих порошков, что снижает себестоимость этих деталей.

С развитием метода детонационного напыления возросла потребность в расширении номенклатуры используемых порошков. Однако порошки, полученные

способами традиционной металлургии, достаточно часто имеют физико-механические свойства, не удовлетворяющие требованиям технологии детонационного напыления. Это объясняется технологическими особенностями процесса получения порошков для детонационного напыления в массовом производстве, предопределяющих их высокую себестоимость.

Важными факторами получения качественных детонационных покрытий являются характеристики дисперсности порошкового материала, парусность частиц, зависящая от их формы, однородность гранулометрического состава, способность к пластической деформации и т.д.

Известно, что для получения качественного покрытия необходимо использовать порошки с размерами частиц менее 50 мкм и минимальным разбросом размеров [2]. Серийно выпускаемые порошки имеют сложный гранулометрический состав. Например, выпускаемый промышленностью медный электролитический порошок (ГОСТ 4960-2009) содержит частицы с размерами менее 100 мкм, причем менее 45 мкм – 10?25%. Повышению технико-экономических показателей эффективности детонационного напыления, расширению областей его применения можно способствовать получением порошков из мелкодисперсных промышленных отходов, включая, стружку, шлифовальные шламы и шлаки. Технология получения порошковых материалов из отходов позволяет снизить себестоимость изготовления порошка и варьировать их свойства в широких пределах. Такие порошки могут иметь более широкий спектр физико-механических характеристик, включая оптимизацию химического и гранулометрического состава, а также формы частиц порошка в процессе его изготовления. Важным аспектом, обеспечивающим высокую технико-экономическую целесообразность изготовления порошков из отходов производства, является возможность организации их производства на небольших предприятиях в местах образования отходов с учетом корреляции химико-физических и технологических требований к конечной продукции.

## **2. Состояние вопроса и постановка проблемы**

Анализ литературных и патентных источников, посвящённых проблеме получения порошков для детонационного напыления из отходов, показал, что работы в этом направлении ведутся крайне не достаточно. Известна работа, в которой рассмотрена возможность и целесообразность применения отходов в качестве порошков для газотермического напыления покрытий (ГТН), приведены сведения о мелкодисперсных отходах различных производств, показаны возможные варианты получения порошков для ГТН из отходов никелевого сплава ЭИ437 [3]. С участием авторов данной публикации выполнен ряд исследований по разработке технологии получения порошков из отходов производства для детонационного напыления [4-6].

Выбор технологических процессов определялся видом отходов производства и свойствами основного материала, содержащегося в них. Отходы производства, применяемые для изготовления порошков, можно разделить на группы в зависимости от характеристик их пластичности. К первой группе относятся высокопластичные металлы (*Cu, Al, Ti, Fe, Mo*) и их сплавы (бронзы, латуни, *Al-Cu -Fe, Ni-Al*), а также

полимеры. Во вторую группу можно включить пластичные материалы – легированные стали и чугуны. Третью группу составляют непластичные материалы, имеющие высокую твердость и температуру плавления (твердые сплавы, оксиды и смеси на их основе).

Цель данной работы – выявление влияния на качество детонационных покрытий фракционного состава порошка в зависимости от пластичности порошкового материала для корректирования технологии изготовления порошков для детонационного напыления из отходов производства.

### **3. Результаты выполненных исследований**

В качестве представителей вышеперечисленных групп отходов производства при изготовлении порошка для детонационного напыления использованы: первая группа – стружка бронзы БрАЖ9-4, вторая группа – шлифовальный шлам чугуна прокатных валков, третья группа – шлак плавки вторичного алюминия. Порошок напыляли на детонационно-газовой установке *DEPLA-4* филиала кафедры технологии машиностроения Донецкого национального технического университета. Порошковые питатели и насадки ствола сменные. Диаметры ствола и сменных насадок составляли 20 мм. Методом, который описан в работе [7], определена прочность детонационного покрытия. Покрытие наносили на кольцевые заготовки из стали 20 с размерами  $d = 30$  мм,  $h = 40$  мм. Толщина наносимого слоя порядка 2 мм. Режимы напыления покрытий, включая дистанцию напыления, подбирались исходя из ранее полученных параметров технологического процесса детонационного напыления, достаточных для формирования покрытия из соответствующих порошков. При проведении экспериментов задача отработки максимально результативных параметров режима нанесения покрытия не ставилась.

Первая группа. Порошок бронзы получали из стружки БрАЖ9-4, имевшей форму вьюнообразную (средние размеры 8?50 мм) и сыпучую (средние размеры 1?3 мм). Технология переработки состояла из операций: предварительное дробление в шаровой мельнице; измельчение в ножевой дробилке; рассеивание на фракции с размерами частиц от 0,063 до 0,050 мм и менее 0,050 мм; отжиг в среде газа, полученного газификацией твердого топлива, для снятия наклепа и восстановления оксидов. Длина ствола установки устанавливалась в 1200 мм. Глубина загрузки для обеих фракций порошка – 800 мм, дистанция напыления 170 мм. Визуальный контроль внешнего вида образцов показал отсутствие внешних дефектов – сколов, вздутий, отслоений, трещин, раковин. Механическим соскобом было установлено, что покрытие имеет хорошее сцепление с основой. Некоторые результаты исследования свойств порошка, полученного из стружки бронзы БрАЖ9-4, и детонационного покрытия из этого порошка приведены в табл. 1.

Вторая группа. Отходы шлифования отбеленного слоя чугунных прокатных валков производства Лутугинского научно-производственного валкового комбината. Технологический процесс переработки шламов в порошки, состоял из следующих операций: 1) сушка шлама при температуре 700?800°С в течение 2 часов; 2) измельчение высушенного шлама в атриторе; 3) воздушная очистка шламов от

пылевидных фракций; 4) магнитная сепарация шлама для удаления абразивных частиц; 5) размагничивание чугунного порошка; 6) рассев чугунного порошка на комплекте вибросит на две фракции с размерами частиц от 0,063 до 0,050 мм и менее 0,050 мм.

Таблица 1. Физико-технологические свойства порошка из стружки бронзы БрАЖ9-4

Фракция, мм	Плотность покрытия, г/см <sup>3</sup>	Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	Форма частиц	Прочность покрытия, МПа
- 0,063 + 0,050	6,91	2,11	Осколочная и округлая	272
- 0,050	6,95	2,17	Округлая и осколочная	279

Как показали исследования, частицы порошка дисперсностью менее 0,050 мм имеют форму микропластин и микростружек, а металлические частицы порошка с размерами частиц от 0,063 до 0,050 мм – осколочную форму. Известно, что скорость напыляемых частиц порошка при детонационном напылении, наряду с другими факторами, зависит от формы частиц порошка [1]. Поэтому можно предположить, что порошок с частицами дисперсностью менее 0,050 мм обеспечит получение более качественного покрытия, чем порошок с размерами частиц от 0,063 до 0,050 мм. Общая длина ствола с насадкой устанавливалась в 1400 мм. Глубина загрузки в процессе напыления обеих фракций порошка – 1000 мм, дистанция напыления – 150 мм. Изучение результатов напыления чугунного порошка проводилось тождественно изучению результатов напыления порошка из стружки бронзы БрАЖ9-4, в том числе по внешним признакам соответствовало им. Результаты исследования свойств порошка, полученного из отходов шлифования отбеленного слоя чугунных прокатных валков, и детонационного покрытия из этого порошка приведены в табл. 2.

Таблица 2. Физико-технологические свойства порошка из отходов шлифования отбеленного слоя чугунных прокатных валков

Фракция, мм	Плотность покрытия, г/см <sup>3</sup>	Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	Форма частиц	Прочность покрытия, МПа
- 0,063 + 0,050	5,82	1,70	Осколочная	92
- 0,050	6,92	1,50	Пластинчатая и стружковая	115

Третья группа. Шлак плавки вторичного алюминия. Для получения порошка был использован шлак, образующийся при переработке алюминиевых сплавов. Шлак сначала перерабатывали в шаровой мельнице и окончательно измельчали в атриторе с последующим отсевом двух фракций с размерами частиц от 0,050 до 0,020 мм и менее

0,020 мм. Полученные фракции подвергали магнитной сепарации и последующей термической обработке при рабочей температуре 1200°C в течение 45 мин. Шлак сушили и просеивали через сито. После обжига шлак проходил повторную обработку в шаровой мельнице и атриторе, так как при обжиге на поверхности шлака образуются спеченные конгломераты, подвергающиеся последующему дроблению. Общая длина ствола с насадкой устанавливалась в 1800 мм. Глубина загрузки при напылении обеих фракций порошка – 1400 мм, дистанция напыления – 130 мм. Изучение результатов напыления порошка из шлака плавки вторичного алюминия проводилось тождественно изучению результатов напыления порошка из стружки бронзы БрАЖ9-4, в том числе по внешним признакам соответствовало им. Результаты исследования свойств порошка, полученного из шлака плавки вторичного алюминия, и детонационного покрытия из этого порошка приведены в табл. 3.

Таблица 3. Физико-технологические свойства порошка из шлака плавки вторичного алюминия

Фракция, мм	Плотность покрытия, г/см <sup>3</sup>	Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	Форма частиц	Прочность покрытия, МПа
- 0,050 + 0,020	3,75	0,69	Округлая и осколочная	35
- 0,020	3,89	0,77	Пластинчатая	58

#### 4. Выводы

Проведенные исследования выявили влияния на качество детонационных покрытий фракционного состава порошка в зависимости от пластичности порошкового материала. При детонационном напылении порошков, выполненных из порошкового материала, обладающего более высокой пластичностью, возможно использование порошкового материала с большими фракционными размерами без существенного влияния на качество формируемых покрытий. Полученные данные позволяют планировать корректирование технологии изготовления порошков для детонационного напыления из отходов производства. Например, при изготовлении порошка из отходов производства, относящихся к одной группе материалов, представляется целесообразным использование компонентного состава исходного сырья. В составе такого сырья предпочтителен один или несколько компонентов материала с более высокой пластичностью. Изготовление порошка с большими фракционными размерами позволяет уменьшить временные и энергетические затраты производства при изготовлении порошков для детонационного напыления из отходов производства, что, в свою очередь, снижает себестоимость этих порошков. Кроме того, при детонационном напылении порошка большего фракционного размера повышается коэффициент его использования за счет снижения объема материала, который испаряется во время нагрева продуктами детонации.

Полученная информация также может быть учтена при отработке технологии нанесения функционально-ориентированных детонационных покрытий. Например, при формировании взаиморасположенных и сочлененных участков покрытия для уменьшения внутренних напряжений в покрытии, возникающих при его эксплуатационном нагреве, целесообразно использовать пористость отдельных слоев детонационного покрытия, связанную с фракционными размерами напыляемого порошка.

#### **Список литературы:**

1. Михайлов А.Н., Петров А.М., Головятинская В.В., Петров М.Г. Исследование особенностей функционально-ориентированных детонационно-газовых покрытий. *Прогрессивные технологии и системы машиностроения*. – Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2013. Вып. 1, 2 (45). – С. 181-186. ISSN 2073-3216.
2. Бартенев С.С., Федько Ю.П., Григоров А.И. Детонационные покрытия в машиностроении. – Л.: Машиностроение, 1982. – 216 с.
3. Борисов Ю.С. Порошки для газотермического напыления из отходов металлообработки: основы производства и перспективы применения / Ю.С. Борисов, В.В. Кудинов. // *Порошковая металлургия*. – 1989. – №10. – С. 25-30.
4. Михайлов А.Н., Петров М.Г., Головятинская В.В., Белошапка Д.В. Получение порошков для детонационно-газового нанесения покрытий из отходов производства. *Прогрессивные технологии и системы машиностроения*. – Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2012. Вып. 1, 2 (44). – С. 160-165. ISSN 2073-3216.
5. Михайлов А.Н., Петров М.Г., Шевченко А.В., Цыркин А.Т., Головятинская В.В. Порошки из отходов шлифования белого чугуна. Стратегия сбалансированного использования экономического, технологического и ресурсного потенциала страны. – Международный сб. научных трудов. – Тернополь: Крок, 2015. – С. 71-76. ISBN 978-617-692-281-0.
6. Цыркин А.Т., Михайлов А.Н., Петров М.Г., Головятинская В.В. Получение порошка из шлака плавки вторичных алюминиевых сплавов для детонационного напыления. *Прогрессивные технологии и системы машиностроения*. – Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2014. Вып. 3 (49). – С. 216-221. ISSN 2073-3216.
7. Шевченко А.В., Михайлов А.Н., Цыркин А.Т., Петров М.Г. / Методика определения прочности детонационных покрытий, нанесенных на цилиндрические поверхности. *Машиностроение и техносфера XXI века*. // Сборник трудов XX международной научно-технической конференции в г. Севастополе 16-21 сентября 2013 г. В 3-х томах. – Донецк: ДонНТУ, 2013. Т. 3. – С. 153-157. ISSN 2079-2670.

Поступила в редколлегию 01.05.2015