

НАНЕСЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ ДЕТОНАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Е.В. Максименко, Е.В. Муравлев, И.В. Казанцев, И.Р. Ахмадеев, С.Г. Ильясов

Исследован процесс детонационного напыления порошковых металлических покрытий с использованием конденсированных высокоэнергетических материалов на базе разработанной установки. Представлены результаты исследований полученных покрытий.

В настоящее время широко применяются следующие методы нанесения покрытий распылением: металлизация, газопламенное и плазменное напыление. Однако их свойства в некоторых случаях не удовлетворяют предъявляемым требованиям. Так, из-за сравнительно низкой прочности сцепления таких покрытий с основой ограничено их использование в машинах и механизмах, работающих при ударных нагрузках, а достигающая 10% пористость делает невозможной их эксплуатацию в агрессивных средах [1-3].

В связи с этим значительный интерес представляет детонационный метод нанесения покрытий. Сущность детонационного напыления заключается в ускорении и одновременном нагреве напыляемых частиц с помощью взрыва с последующим контактом частиц порошка и упрочняемой детали. В результате происходит устойчивое механическое сцепление подложки и наносимого материала, который в свою очередь может изменять химические и механические свойства упрочняемой подложки. Имеется принципиальная возможность наносить покрытия как различной толщины, так и различной химической структуры, в том числе и многослойные градиентные структуры.

К преимуществам этого метода [1, 2] относят высокую прочность сцепления ($10...16 \text{ кг/мм}^2$), высокую плотность (пористость менее 1%), возможность нанесения широкого класса материалов на подложки без изменения свойств материала основы. Кроме того, из всех существующих только данный метод позволяет наносить металлокерамические твердые сплавы на основе карбидов вольфрама, хрома, титана. При этом свойства покрытий практически не отличаются от свойств аналогичных твердых сплавов, полученных методами спекания. Также к существенному преимуществу детонационного метода относится лишь незначительный нагрев напыляемого изделия по сравнению с другими методами (обычно $\leq 250^\circ\text{C}$). Высокие эксплуатационные свойства покрытий, получаемых методом детонационного напыления,

позволяют радикально (в $5...10$, а в некоторых случаях в $20...30$ раз) повышать ресурс, износо- и коррозионную стойкость узлов и деталей.

При всех достоинствах рассматриваемого метода напыления основным источником детонационной волны во всех существующих установках является взрыв газовой смеси (так называемое детонационно-газовое напыление), в то время как напыление с использованием энергии конденсированных высокоэнергетических материалов (ВЭМ) практически не рассматривается.

Цель данной работы – исследование процесса детонационного напыления металлических покрытий с использованием конденсированных ВЭМ.

В ходе работы была проведена серия постановочных экспериментов с использованием разработанной установки. Схема установки приведена на рис. 1.

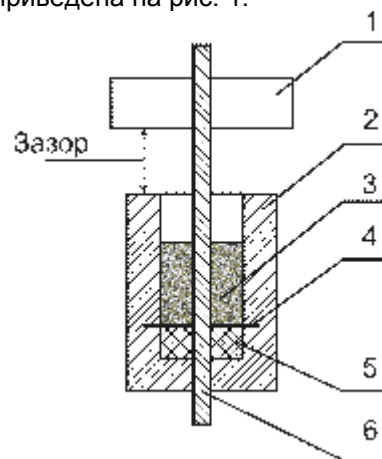


Рис. 1. Схема установки напыления: 1 – пластина-образец; 2 – корпус; 3 – металлический порошок; 4 – разделительная мембрана; 5 – заряд ВЭМ; 6 – направляющий стержень

В качестве образцов 1 использовались прямоугольные стальные пластины площадью $S = 15...30 \text{ см}^2$. Перед экспериментами пластины шлифовались наждачной бумагой с последующим полированием алмазной пастой, затем обезжиривались ацетоном.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2007

НАНЕСЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ ДЕТОНАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

В экспериментах производилось напыление мелкодисперсного порошка алюминия. Дисперсный состав порошка 1...15 мкм.

В качестве ВЭМ 5 была выбрана монокалиевая соль динитромочевины, отличительной особенностью которой является то, что даже в количестве 10 мг она способна к высокоскоростному взрывчатому превращению при иницировании от нити накаливания. Это позволяет исследовать напыление при небольших навесках ВЭМ и напыляемого порошка (до 1 г).

Начальные данные по проведённым экспериментам приведены в таблице 1.

Таблица 1
Начальные данные экспериментов

№ п/п	Масса ВЭМ, г	Масса порошка, г	Зазор, мм
1	0,2	0,4	0,7
2	0,2	0,2	0,3
3	0,25	0,4	0,3
4	0,25	0,4	0,3
5	0,2	0,4	0,3

После напыления с пластин щёткой удалялись излишки металлического порошка. Во всех проведённых экспериментах слой покрытия достаточно шершавый, покрытие неравномерное по площади нанесения. Проверка прочности покрытия путём механического соскоба показала достаточно хорошее сцепление спеченного порошка с пластиной. Для более полного определения характеристик покрытий требуются дальнейшие исследования в соответствии с ГОСТ 9.302 и ГОСТ 27953 [4, 5].

На рис. 1 и 2 приведены фотографии образца № 3 до и после напыления.



Рис. 1. Фотография образца № 3 до напыления



Рис. 2. Фотография образца № 3 после напыления

На рис. 3 и 4 приведены фотографии образца № 4 до и после напыления.

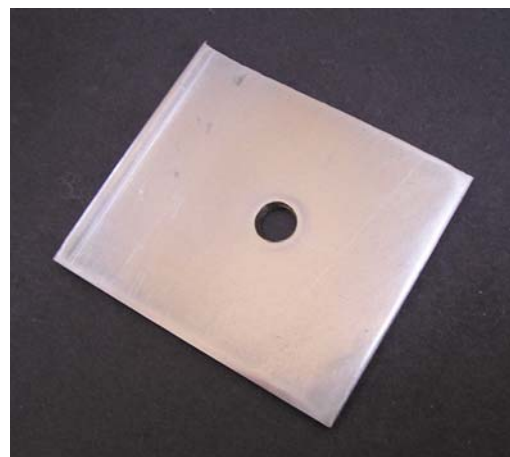


Рис. 3. Фотография образца № 4 до напыления

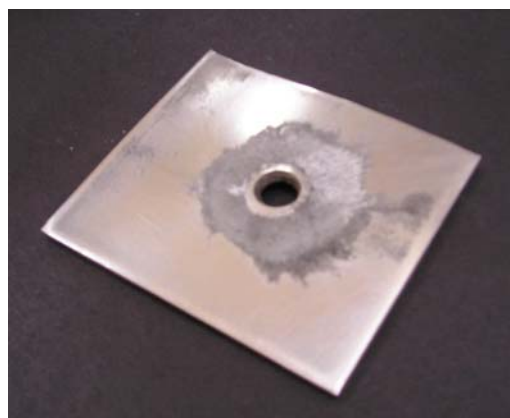


Рис. 4. Фотография образца № 4 после напыления

На рис. 5, 6 приведены микрофотографии образца после напыления.

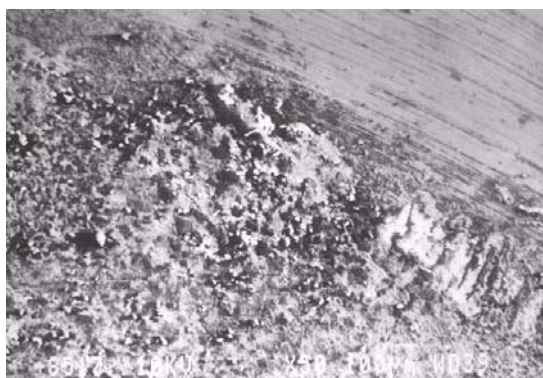


Рис. 5. Фотография образца (x50)

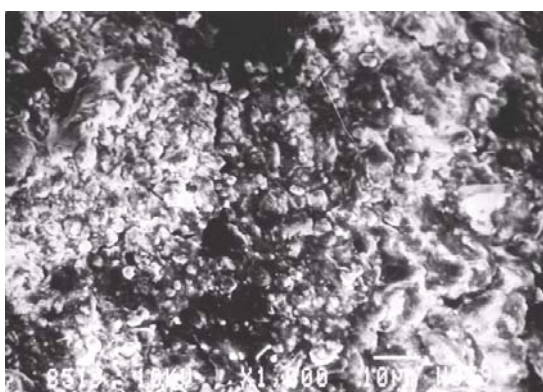


Рис. 6. Фотография образца (x1000)

На рис. 5 приведена фотография образца с увеличением в 50 раз. Хорошо видна граница зоны нанесения покрытия.

На рис. 6 приведена фотография образца с увеличением в 1000 раз. Видно, что поверхность покрытия существенно неравномерная. Присутствуют как отдельные частицы с размером порядка нескольких микрон, так и достаточно большие частицы.

В таблице 2 приведены данные рентгеновского микроэлементного анализа полученного покрытия. Из таблицы видно, что основной вклад составляют алюминий и калий. Очевидно продукты взрыва прореагировали с напыляемым порошком алюминия, и образовался новый материал.

Таблица 2
Данные микроэлементного анализа покрытия

	Проба № 1 (содержание, %)	Проба № 2 (содержание, %)
Al	57,32	61,25
Si	0,82	0,57
S	4,99	4,82
Cl	1,26	1,11
K	32,66	30,55
Fe	2,96	1,72

После нанесения покрытий измерялся прирост толщины и массы напылённых образцов. Измерения толщины проводились микрометром МК1003 (класс точности 2) по четырем точкам поверхности с последующим усреднением. Измерения массы – лабораторными весами ВЛТЭ-150 (класс точности 2, предельная погрешность ± 3 мг). Результаты измерений представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3
Результаты измерения толщины покрытия

№ п/п	Толщина пластины до напыления, мм	Толщина пластины после напыления, мм	Толщина покрытия, мм
1	1,485	1,5175	0,0325
2	1,505	1,64	0,135
3	3,0825	3,47	0,3875
4	1,9575	2,275	0,27
5	3,075	3,2475	0,1725

Таблица 4
Результаты измерения массы покрытия

№ п/п	Исходная масса пластины, г	Масса после напыления, г	Масса покрытия, г
1	30,458	30,468	0,01
2	26,380	26,394	0,014
3	44,608	44,656	0,048
4	36,695	36,740	0,045
5	50,132	50,162	0,03

По результатам экспериментов видно (таблицы 1-3), что масса напылённого порошка составляет до 10 % от массы исходного для данной конструкции установки напыления. Толщина покрытия без дополнительной обработки существенно неравномерная. В дальнейшем планируется доработка схемы установки и проведение оптимизационного поиска параметров заряжения металлического порошка и ВЭМ с целью соответствия получаемых покрытий ГОСТ 27953 [5].

Таким образом, в результате проведённых исследований можно сделать следующие выводы.

1. Показана возможность детонационного напыления металлических порошковых покрытий с использованием новых конденсированных ВЭМ. Достоинством предложенного метода является возможность нанесения покрытий с использованием небольших навесок ВЭМ и порошка, что позволит осуществлять патронирование системы напыления.

2. Для данной конструкции установки напыления масса напылённого порошка составляет до 10% от массы исходного. Толщина покрытия без дополнительной обработки существенно неравномерная.

НАНЕСЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ ДЕТОНАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

3. В дальнейшем планируется доработка схемы установки и проведение оптимизационного поиска параметров заряжания металлического порошка и ВЭМ с целью соответствия получаемых покрытий ГОСТ 27953.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зверев А.И. Детонационное напыление покрытий / А.И. Зверев, С.Ю. Шаривкер, Е.А. Астахов. – Л.: Судостроение, 1979. – 232 с.

2. Бартенев С.С. Детонационные покрытия в машиностроении / С.С. Бартенев, Ю.В. Федько,

А.И. Григоров. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – 215 с.

3. Борисов Ю.С. Газотермические покрытия из порошковых материалов: справочник / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.Л. Сидоренко, Е.Н. Ардатовская. – Киев: Наукова думка, 1987. – 544 с.

4. ГОСТ 9.302 – 88. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля. – Введ. 1990-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 66 с. – (Единая система защиты от коррозии и старения).

5. ГОСТ 27953 – 88. Покрытия детонационные. Общие требования. – Введ. 1990-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 10 с.