

УДК 621.793.71.8:001.895

Ю.А.Кузнецов

ФГБОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет»

КРАТКИЙ ОБЗОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СВЕРХЗВУКОВОГО ГАЗОПЛАМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

В статье приведен краткий обзор технологического оборудования для сверхзвукового газопламенного напыления, даны характеристики

Высокоскоростное газопламенное напыление по праву считается наиболее современной из технологий напыления.

На российском рынке сегодня представлены зарубежные установки для сверхзвукового напыления Intelli-Jet (фирма Шторм-ИТС) и DJ Hybrid (немецкое отделение фирмы Sulzer Metco) и многие другие.

Современные установки – Top Gun K, JP-5000, OSU Carbide Jet, DJ2600/2700, Intelli-Jet работают при давлении в камере сгорания 0,6...1,0 МПа, а увеличение скорости струи продуктов сгорания до сверхзвуковой происходит внутри горелки. Это обеспечивает повышение скорости частиц до 800 м/с [1-3]. Сравнение покрытий показывает, что по пористости, адгезии, микротвердости лучшие показатели у JP-5000, DJ2600/2700, Intelli Jet.

В установках JP-5000 и Diamond Jet Hybrid (DJ2600/2700) в камеру сгорания подаются кислород и горючий газ. Отличия – в конструктивном исполнении подачи порошка, схеме смешения газов и вида горючего газа. Для JP-5000 – это керосин, для Diamond Jet Hybrid – пропан, пропилен, этилен (DJ2700) или водород (DJ2600). В этих системах предусмотрено водяное охлаждение, а в DJ-установках теплонагруженные узлы дополнительно охлаждаются воздухом. Intelli Jet отличается использованием воздуха, как в качестве окислителя, так и охлаждающей среды. Горючие газы – пропан, пропилен.

Из таблицы 1 видно, что наиболее технологична установка Intelli-Jet. Она не требует использования кислорода в качестве окислителя, водяного охлаждения.

Таблица 1.

Расход материалов за 1 час работы [4, 5]

Материалы	Intelli-Jet	JP -5000	DJ2700	Top Gun
Кислород, м ³	-	60	18	21
Сжатый воздух, м ³	300	-	23	-
Топливо	Вид	Пропилен	Керосин	Пропилен
	Расход, кг	30	21	17
Азот, м ³	0,96	1,2	1,08	1,02
Вода на охлаждение, м ³	-	1	0,72	0,72

Согласно анализу данных производителей [4] (табл. 2) Intelli-Jet обеспечивает наибольшие скорости частиц. Эти отличия от других установок приводят к снижению окисления частиц и дают возможность повысить производительность напыления. Соотношение затрат на расходные материалы обуславливает для Intelli-Jet снижение в 1,6...2,5 раза относительной стоимости покрытий.

Таблица 2.

Выходные параметры установок для сверхзвукового газопламенного напыления.

Распыляемый материал – WC-10Co-4Cr [4-6]

Параметры	Intelli-Jet	JP-5000	DJ2700	Top Gun
Средняя скорость частиц, м/с	775	665	570	420
Максимальная температура частиц, К	1543	2078	2253	2573
Производительность напыления, кг/ч	26	12	9	2,1
Коэффициент использования распыляемого материала, %	68	40	64	60
Относительная стоимость напыления (покрытие толщиной 0,5мм, площадью 1 м ²)	1	2,5	1,6	1,7

Анализ рассматриваемых установок показал, что установки DJ Hybrid, GP-5000, Intelli-Jet позволяют наносить покрытия примерно одинакового уровня качества. По технологичности, производительности, относительным затратам на формирования покрытия наиболее предпочтительна установка Intelli Jet.

Ниже также представлены характеристики (табл. 3-4) одной из лучших универсальных установок высокоскоростного газопламенного напыления ТСЗП-HVOF-K2 (Россия) [7].

Таблица 3.

Характеристики охладителя установки

Параметр	Значение
Теплосъем, Вт	85200
Минимальная температура воды на выходе, °С	15
Максимальная температура воды на выходе, °С	25
Напряжение, В	3×380, 50Гц
Потребляемая мощность, кВт	27,8
Потребляемый ток, А	64
Водяное охлаждение	Замкнутый цикл
Габариты (длина×ширина×высота), мм	1980×890×2150

Таблица 4. Характеристики пистолета

Параметр	Значение
Топливо	Керосин
Окислитель	Кислород
Давление кислорода, МПа	2,0-2,3
Расход кислорода, л/мин	500-900
Расход керосина, л/ч	10-25
Скорость потока газа, м/с	> 2000
Скорость частиц порошка, м/с	> 800
Водяное охлаждение	Замкнутый цикл
Производительность напыления карбидов, кг/ч	6-12
Производительность, кг/ч	8-10

Комплекс оборудования для высокоскоростного напыления ТСЗП-HVOF-K2 предназначен для нанесения износостойких, коррозионно-стойких, уплотнительных покрытий из карбидов вольфрама и хрома, металлов и сплавов, наноструктурированных материалов способом сверхзвукового газопламенного напыления.

Таблица 5.

Основные характеристики формируемых покрытий

Параметр	Значение
Твердость покрытия для Wc/Co (88/12), HV	1100
Пористость покрытия для Wc/Co (88/12), %	< 1
Адгезия покрытия для Wc/Co (88/12), МПа	> 80

Комплекс высокоскоростного газопламенного напыления ТСЗП-HVAF-AK07 (Россия), работает на смеси горючих газов, позволяет быстро и качественно защищать крупногабаритные детали, аппараты и емкости от коррозии и изнашивания. Основные характеристики комплекса приведены в табл. 6-7. Комплекс предназначен для нанесения износостойких и коррозионно-стойких покрытий [8].

Таблица 6.

Характеристики порошкового дозатора

Параметр	Значение
Фракция порошка, нм	1-53
Расход порошка (металлы), кг/ч	27
Расход порошка (карбиды), кг/ч	30
Расход транспортирующего газа, л/мин	20
Масса, кг	50
Габариты (длина×ширина×высота), мм	710×430×865

Таблица 7.

Характеристики горелки

Параметр	Значение
Топливо: основное дополнительное	Пропан, метан Водород
Окислитель	воздух
Давление газа, МПа: пропан, метан, пропилен водород воздух	0,7 0,9 0,7
Расход газа, л/мин: пропан, метан, пропилен водород воздух	60 18 4200
Скорость потока газа, м/с	> 2000
Скорость частиц порошка, м/с	> 800
Производительность напыления, кг/ч	18

Комплекс для высокоскоростного напыления SB (250/500) предназначен для получения антикоррозионных и износостойких покрытий на деталях, с прочностью их сцепления до 150 МПа, путем высокоскоростного напыления порошковых материалов на основе металлов и карбидов [9].

Основные характеристики оборудования представлены в таблице 8.

Таблица 8.

Основные технические характеристики установок типа «SB»			
Модель установки		SB250	SB500
Распыляемые материалы		Карбиды	Карбиды, металлические сплавы
Горючие газы		Пропан, пропилен, природный газ	
Охлаждение		Сжатый воздух	
Расход	Сжатый воздух, м ³ /мин	5,0	7,8
	Пропан, кг/мин	0,15	0,25
	Азот (для подачи порошка), м ³ /мин	0,04	
Производительность, кг/ч	WC – сплавы	30	
	Cr ₃ C ₂ – сплавы	16	
	Ni-, Co-, Fe-сплавы	-	22
Коэффициент использования материала, %	WC – сплавы	50-70	45-65
	Cr ₃ C ₂ – сплавы	40-55	38-45
	Ni-, Co-, Fe-сплавы	-	60-75

Комплекс портативного технологического оборудования СГН-1 (Россия), предназначен для сверхзвукового газопламенного напыления качественных покрытий с высокой адгезией, твердостью, плотностью, низкой пористостью, а также для сверхзвуковой резки (включая флюсовую) [10]. Основные характеристики оборудования и формируемых покрытий представлены в таблице 9.

По эффективности данное оборудование эквивалентно современному плазменному технологическому оборудованию (при снижении стоимости покрытия в 1,5...2 раза).

Таблица 9.

Основные характеристики оборудования СГН-1 и формируемых покрытий	
Параметр	Значение
Характеристика оборудования:	
Топливо	Пропан (метан)
Окислитель	Кислород
Скорость потока газа, м/с	До 2600
Температура струи, К	2500...3000
Система охлаждения	Проточная водяная
Максимальная производительность, кг/ч	1,5
Характеристики покрытий:	
Пористость покрытия, %	Не более 2
Адгезия покрытия, МПа	50...80 (до 100)
Толщина покрытия, мм	0,1...1,5 (до 5)

В отличие от западных аналогов («Jet Kote II» – Deloro Stellite GmbH, «Diamond Jet» – SULZER METCO, «TOPGUN» – GTV, «JP- 5000» – Praxair) СГН-1 является переносным и предназначено для массового потребителя; может эксплуатироваться на любом участке для газовой резки (сварки) и даже в полевых условиях; является существенно более дешевым (примерно в 20 раз); имеет расширенные функциональные возможности – кроме напыления может резать высоколегированную сталь, чугун, цветные металлы.

1. http://www.portalnano.ru/read/prop/pro/materials/functional/4cosmos/gas_thermal
2. <http://www.mashprom.ru/index.php?page=infor&pid=100022>
3. <http://www.eurometllc.ru/rhv/powder/>
4. <http://www.svarkainfo.ru/rus/lib/blog/?aid=17&docId=274>
5. Балдаев Л. Х., Борисов В. Н., Вахалин В. А. Газотермическое напыление: Учебное пособие для вузов / Под общ. ред. Л. Х. Балдаева. — М.: Маркет ДС, 2007. — 344 с.
6. <http://www.sulzernetco.ru/materials>
7. <http://www.tspc.ru/oborud/HVOF/>
8. <http://www.tspc.ru/oborud/HVAF-AK07/>
9. <http://15997.ru.all-biz.info/cat.php?oid=3229>
10. <http://www.e1.bmstu.ru/hvof1/det-w.html>