

# Оборудование, технология газотермического напыления и покрытия

Л.Х. Балдаев, к.т.н; В.А. Лупанов, инж.; А.П Шатов, д.т.н.; ООО"НИИ ЗП ТСЗП- Сатурн"

Центральной задачей в современной развитии техники является повышение долговечности и надежности узлов и деталей металлургической, химической и нефтеперерабатывающей, аэрокосмической и других отраслей техники за счет уменьшения интенсивности изнашивания и коррозии различных деталей за счет применения газотермических покрытий. Все это тесно связано с совершенствованием материалов и технологических процессов нанесения функциональных покрытий со специальными свойствами

К числу наиболее перспективных методов нанесения газотермических покрытий относятся плазменный и высокоскоростной газопламенный (HVOF)-процессы.

Назначение и область применения плазменного напыления порошковыми материалами – нанесение покрытий со специальными свойствами: (коррозионно-стойких, жаростойких, теплозащитных, антифрикционных и т.д.) при изготовлении и ремонте деталей и узлов, подвергающихся во время работы воздействию высоких нагрузок и интенсивному изнашиванию/1/.

В основной комплект плазменного оборудования входят:

- система управления (шкаф, и пульт управления)
- блок газоподготовки,
- блок коммутации(ЖАМ бокс),
- источник питания,
- порошковый дозатор,
- охладитель,
- плазмотрон/1-2/

Применяемые материалы – порошковые материалы из химически чистых и цветных металлов и сплавов, карбидов.

Применяемые газы – азот, аргон, водород или гелий, сжатый воздух.

В зависимости от функционального назначения плазменные покрытия различают/3/:

- технологические покрытия, предназначенные для упрочнения, горячей и холодной штамповки, прессования, волочения;

- специальные покрытия, объединяющие самую большую группу покрытий, которые обладают разнообразными свойствами: тепло-, электро-, и оптическими, износостойкостью, антифрикционностью и другими.

Однако это деление достаточно условно, так как в реальных условиях от защитного покрытия часто требуется комплекс эксплуатационных свойств.

Газотермические методы: высокоскоростное газопламенное напыление ( HVOF)- нанесение сверхплотных защитных покрытий с высокими адгезионными характеристиками и специальными свойствами(коррозионно-стойких, жаростойких, теплозащитных, антифрикционных и т.д.) при изготовлении и ремонте (в том числе локальном) деталей и узлов машин

Усовершенствованная высокоскоростное газопламенное напыление (HVOF) осуществляется подбором соответствующего горючего газа, регулируемого его расхода, а также соотношения кислород – горючий газ. При этом максимальная температура пламени и эффективность нагрева зависят от применяемого горючего газа (табл.1)/4/

Таблица 1

Горючий газ/ вещество	Максимальная температура пламени °С	Соотношение кислород-горючий газ/вещество	Стехиометрическое соотношение кислород – горючий газ/ вещество	Соотношение кислород-горючий газ/ вещество
Пропан	2828	4,5	5,0	3,0-8,0
Пропилен	2896	3,7	4,5	3,5-7,0
Водород	2856	0,42	0,5	0,3-0,6
Этилен	2924	2,4	3,0	2,0-5,0
Ацетилен	3160	1,5	2,5	1,3-4,0
Керосин	2780	2,9	3,4	2,8-4,3

Образование покрытия зависит от температуры и скорости напыляемых частиц в момент их контакта с подложкой. Так как эти свойства частиц изменяются в процессе полета, то существенным также является дистанция напыления. У различных HVOF-систем в зависимости от напыляемого материала ее величина находится в пределах 230-380 мм. (табл. 2)/4/

Для выбора оптимальной дистанции напыления важно не только обеспечить высокую скорость частиц при контакте их с подложкой, но также оптимальное время их полета. Если дистанция напыления значительно превышает оптимальную, то при контакте частицы имеют пониженную скорость и низкую температуру, что приводит к снижению адгезии покрытия с подложкой. Если дистанция напыления меньше оптимальной, частицы недостаточно разогреты и происходит перегрев напыляемых деталей и ранее нанесенных слоев покрытий.

Касаясь отечественного опыта применения сверхзвуковых струй в технологии газотермического напыления/5/, следует отметить также оборудование сверхзвукового газопламенного напыления износо- и коррозионно-стойких покрытий, упрочнения, ремонта и восстановления, разработанное в НИИ конструкционных материалов и технологических процессов МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В настоящее время проводится разработка принципиально новой сверхзвуковой горелки “Термика –HS”, работающей на пропан-бутановой смеси, кислорода и сжатом воздухе в качестве транспортирующего газа/5/. Скорость истечения струи разогретого газа на срезе сопла достигает 1700- 2700 м/с, что позволит получать покрытия с прочностью сцепления не менее 100 МПа и пористостью 0,5%

Таблица 2

Система	Расход горючего газа/ вещества, м <sup>3</sup> /ч	Расход кислорода, м <sup>3</sup> /ч	Расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /ч	Соотношение кислорода-горючий газ/вещество	Дистанция напыления
Jet Kote	25,9 водорода 3,0 пропана 4,4 ацетилена	18,1 21,0 20,2	- - -	0,7 7,0 4,2	250
Top Gun	25,9 водорода 3,0 пропана 4,8 этилена	13,0 15,0 14,4	- - -	0,5 5,0 3,0	250
DJ-2800	38,2 пропана	12,8	20,6	0,45	230-250
DJ-2700	4,1 пропана 6,8 этилена	15,2 15,0	22,0 21,8	4,8 2,9	230-250
DJ-5000	21 л/ч керосина	53,5	-	4,2	350-380

ООО "ТСЗП" располагает современным роботизированным (например, роботом –манипулятором KUKA KR – 15/2) и компьютеризированным оборудованием для газотермического напыления ( для плазменного напыления плазмотронами F1, F4 и SG-100 с помощью установки ТСЗП- MF-P-1000; для HVOF-процессов установкой ТСЗП –HVOF-K-2, например с горелкой SB 500)



**Установка для плазменного напыления ТСЗП – MF- P-1000 с манипулятором**



**Установка для высокоскоростного газопламенного напыления ТСЗП –HVOF-K-2 с манипулятором**

Применение роботизированного оборудования при напылении, в том числе установки ТСЗП-HVOF –К2, обеспечивает высокое качество наносимых покрытий и 100%-ную воспроизводимость результатов. Кроме того, использования промышленных компьютеров в системах управления технологическим оборудованием, позволяет проводить диагностику и текущий контроль, как технологических процессов, так и состояние самого оборудования в реальном режиме времени с распечаткой на принтере до 100 параметров.

ООО" ТСЗП" осуществляет комплектную поставку оборудования, включая оборудования как для плазменного напыления , так и для проведения HVOF-процесса, разрабатывает технологические процессы, обучает персонал, проводит шеф-монтаж, выполняет гарантийный ремонт, а также осуществляет авторский надзор на договорной основе. Все поставляемое оборудование имеет сертификаты в соответствии ISO.

#### Список используемой литературы.

- 1.Л.Х Балдаев, Реновация и упрочнение деталей машин методами газотермического напыления. М.:КХТ, 2004, 134с
- 2.Борисов Ю.С., Борисов А.Л. Плазменные порошковые покрытия. К.:Техніка, 1986, 223с
- 3.Лесневский Л.Н., Тюрин В.Н., Ягодкин Ю.Д.Технология плазменных покрытий в производстве энергетических и двигательных установок. Учебное пособие. М.: МАИ,1994,80с
- 4.Особенности процессов высокоскоростного газопламенного напыления./ Балдаев Л.Х., Шестеркин Н.Г., Лупанов В.А., Шатов А.П.// Сварочное производство,2003,№5, с43-46
- 5.От дозвукового к сверхзвуковому газопламенному напылению покрытий при восстановлении и упрочнении деталей машин./ ХромовВ.Н., Верцов В.Г., Коровин А.Я. и др.// Сварочное производство, 2001,№2, с.39-48