

Изобретение относится к области нанесения покрытий газотермическими методами и может быть использовано в различных отраслях машиностроения для получения износо- и коррозионностойких покрытий, а также покрытий с особыми электрофизическими свойствами.

К таким покрытиям, т.е. позволяющим одновременно реализовать целый комплекс положительных потребительских свойств, относятся аморфные покрытия. Большинство известных газотермических методов напыления и устройств не позволяют эффективно получать полностью аморфные покрытия, т.к. технология получения аморфных покрытий, с точки зрения физики процесса, имеет целый ряд особенностей, не реализуемых в известных технических решениях. Одними из наиболее важных таких особенностей являются:

- обеспечение оптимального теплового режима аморфизации покрытия на детали;
- снижение диффузии окружающих газов в напыляемый материал, а также их химического взаимодействия.

Известно техническое решение [1], обеспечивающее возможность при помощи двухконтурной струи и подбора температуры каждого газоструйного контура реализовать приемлемый температурный режим аморфизации покрытия на детали.

Однако известное техническое решение характеризуется большим расходом используемых газов, а при температурах газов, оговоренных в известном способе, обладает низкой эффективностью при аморфизации покрытия. Кроме того, конструкция в известном техническом решении также не обеспечивает достаточной эффективности процесса аморфизации в силу значительной турбулизации газопорошкового потока и, как следствие, повышенной диффузии окружающих газов в напыляемый материал при росте вероятности химического взаимодействия с компонентами атмосферы.

Наиболее близким по технической сущности к заявленному способу является выбранный в качестве прототипа способ газотермического напыления [2], в котором при помощи защитной охлаждающей среды, подаваемой по периметру газопорошковой плазменной струи, обеспечивают ламинаризацию наружной зоны плазменной струи и режим стабилизации. При этом ламинаризация наружной зоны плазменной струи вихревым потоком охлаждающей среды создает благоприятные условия для повышения объемной аморфизации газотермических покрытий, т.к. уменьшается диффузия окружающих газов в напыляемый материал, практически полностью исключается вероятность химического взаимодействия с компонентами атмосферы, понижается температура напыляемой детали. Однако организация вихревого потока не является технологичной, т.к. требует значительного расхода используемого газа или жидкости. К тому же нет возможности эффективно варьировать температуру плазменной струи и, как следствие, температуру напыляемой детали, т.е. способ газотермического напыления, выбранный в качестве прототипа, не обеспечивает широких технологических возможностей, некоторые аморфные материалы имеют низкое качество.

Наиболее близким по технической сущности к заявленному устройству является выбранное в качестве прототипа устройство [3], содержащее прикрепленную к торцу плазмотрона насадку с внутренним каналом для прохода газопорошковой плазменной струи и рубашкой охлаждения, образованной внешним и внутренним корпусами, полость которой соединена с внутренним каналом отверстиями во внутреннем корпусе, расположенными равномерно по его поверхности. Недостатками устройства, выбранного в качестве прототипа, можно считать то, что конструкция не обеспечивает широких технологических возможностей по влиянию на температуру плазменной струи, не способствует повышению скорости напыляемых частиц, не обеспечивает требуемого качества аморфных покрытий. К недостаткам устройства можно также отнести недостаточную технологичность, заключающуюся в высокой себестоимости единицы напыленной площади и относительно высокой стоимости изготовления, а также низкую эффективность при напылении аморфных покрытий на длинных дистанциях за счет ослабления потока экранизации при больших расходах охлаждающей среды.

В основу изобретения поставлена задача усовершенствования технологии газотермического напыления покрытий путем преобразования состава и структуры газопорошкового потока, что обеспечивает формирование улучшенной микроструктуры напыленного покрытия, в частности, повышенного количества аморфной фазы, и за счет этого улучшение качества покрытий и их эксплуатационных свойств (износостойкости, коррозионной стойкости и т.д.)

Поставленная задача решается тем, что в способе газотермического напыления покрытий, при котором по периферии газопорошковой плазменной струи подают охлаждающую жидкость, согласно изобретению, последнюю подают без завихрений под давлением, превышающим давление в газопорошковой плазменной струе, причем избыточное давление жидкости не превышает 0,55 МПа; напыление производят при соотношении объемных расходов жидкости и плазмообразующего газа не более 0,01; расход охлаждающей жидкости не превышает 20 л/мин.

В основу изобретения поставлена также задача усовершенствования устройства для газотермического напыления покрытий благодаря иному выполнению и расположению отверстий во внутреннем корпусе, что повышает объемное содержание аморфной фазы при одновременном уменьшении расхода охлаждающей среды и таким образом улучшает качество покрытий.

Поставленная задача решается тем, что в устройстве для газотермического напыления покрытий, содержащем плазмотрон, на торце которого закреплена насадка с внутренним каналом для прохода газопорошковой плазменной струи и рубашкой охлаждения, образованной внешним и внутренним корпусами, полость которой соединена с внутренним каналом отверстиями во внутреннем корпусе, расположенными равномерно по поверхности, согласно изобретению, отверстия выполнены в виде капилляров, расположенных в шахматном порядке. При этом диаметр внутреннего канала для прохода газопорошковой струи выполнен со значением, равным 2-5 диаметрам выходного отверстия плазмотрона; отношение суммарной площади капиллярных отверстий ко всей поверхности равно 0,001-0,025; расстояние между корпусами не больше толщины внутреннего корпуса.

Предлагаемые решения обеспечивают также:

- расширение технологических возможностей за счет расширения номенклатуры напыляемых аморфизирующихся сплавов;
- повышение технологичности путем снижения себестоимости единицы напыленной площади.

На фиг. 1 представлен продольный разрез заявляемого устройства.

На фиг. 2 представлен поперечный разрез заявляемого устройства.

Устройство 1 для напыления покрытий на подложку 2 содержит плазмотрон 3 и прикрепленную к нему насадку с внешним корпусом 4 и внутренним корпусом 5. Плазмотрон 3 имеет патрубок 6 для подачи напыляемого материала в область взаимодействия с плазмообразующим газом. Внутренний корпус 5 имеет расположенные в шахматном порядке капиллярные отверстия 7. Такое расположение позволяет при минимальном количестве отверстий охватить максимальную площадь поверхности. Капиллярные отверстия 7 являются связью между каналом 8 для прохода газопорошковой плазменной струи и рубашкой охлаждения 9. В рубашку охлаждения 9 подведены патрубок 10 и патрубок 11 для подачи жидкости, а также патрубки 12 и 13 для отвода жидкости. Торцевая пластина 14 имеет резьбу с шагом, уплотняющим зазор между торцевой пластиной 14 и внешним корпусом 4. При помощи буртиков 15 осуществляется фиксация внутреннего корпуса 5, а с помощью резиновых колец 16 обеспечивается уплотнение. Торцевая пластина 14 имеет углубления 17 под ключ для поджатия внутреннего корпуса 5.

На фиг. 2 проставлены обозначения основных диаметров устройства 1: Д 1 - диаметр выходного-отверстия плазмотрона 3; Д 2 - диаметр канала 8; Д 3 - внешний диаметр внутреннего корпуса 5; Д 4 - внутренний диаметр внешнего корпуса 4. При этом согласно заявленному техническому решению, должны выполняться следующие условия:

$$1-D_2=(2..5)\times D_1$$

$$2-(D_4-D_3):2<(D_3-D_2):2.$$

Устройство работает следующим образом:

Через патрубки 10 и 11 с помощью расходного вентиля (на чертеже не показан) устанавливается расход жидкости, обеспечивающий эффективный отбор теплоты от внутреннего корпуса 5 с повышением температуры единичного объема жидкости, равномерно движущейся от торца плазмотрона до торца насадки. С повышением температуры вязкость жидкости падает. В этих условиях жидкость еще не поступает в канал 8. т.к. высота подъема жидкости в капилляре 7 не превышает толщины внутреннего корпуса 5. Повышение давления жидкости при помощи напорного вентиля (на чертеже не показан) обеспечивает поступление жидкости из рубашки охлаждения 9 через капиллярные отверстия 7 в канал 8, т.е. в зону взаимодействия с газопорошковой плазменной струей. Повышение давления продолжают, как минимум, до тех пор, пока не обеспечат беспульсационное истечение двухконтурной струи из насадки. Дальнейшее повышение давления предусматривают технологической необходимостью, но не более, при котором объем поступающей жидкости охладит плазменную струю ниже значений качественного формирования покрытия.

Для эффективной работы устройства 1 необходимо, чтобы объем прокачиваемой через патрубки 10, 11 и 12, 13 жидкости был больше объема расходуемой через капиллярные отверстия 7, ввиду возможного образования пузырьков газа в рубашке охлаждения 9 и появления эффекта "запирания" течения жидкости. В данном случае эффективность работы устройства 1 достигается тем, что расстояние между внутренним корпусом 5 и внешним корпусом 4 не больше толщины внутреннего корпуса 5, т.е. при относительно большой скорости течения жидкости по рубашке охлаждения 9 объем прокачиваемой жидкости больше объема расходуемой с учетом необходимости повышения температуры элементарного объема текущей в рубашке охлаждения 9 жидкости.

Дальнейшее описание работы устройства 1 осуществляется при помощи примеров конкретного исполнения.

Пример 1. В качестве базы для сравнения исследованы свойства покрытий, полученных по способу и устройству в соответствии с прототипом. Выбраны наиболее оптимальные и сведены в таблицу в качестве отправной точки сравнения по положительному эффекту. При этом основные параметры, в соответствии с описанием прототипа, были следующими:

Используемая установка плазменного напыления - "Киев-7"

Рабочий ток - 300 А

Рабочее напряжение - 200 В

Расход плазмообразующего газа (84% возд. и 16%  $C_3H_8$ )-10,5

Давление плазмообразующего газа - 0,4 МПа

Напыляемый материал -  $Fe_{40}Ni_{40}B_{20}$ , фр. 50/63

Расход транспортирующего газа - 0,4 м<sup>3</sup>/ч

Давление транспортирующего газа - 0,12 МПа

Дистанция напыления - 50 мм

Избыточное давление охлаждающей среды - 1,0 МПа

Расход охлаждающей среды - 80 л/мин

Присоединительный диаметр насадки - 52 мм

Диаметр выходного отверстия плазмотрона - 7 мм

Диаметр внутреннего канала - 50 мм

Длина внутреннего канала - 100 мм

Характеристики полученного покрытия сведены в таблицу.

Пример 2. Аналогично примеру 1, но с использованием насадки в соответствии с заявленным техническим решением. При этом основные параметры приняли значения:

Количество расходуемой воды - 0,9 л/мин

Диаметр канала 8, Д2 - 20 мм

Внешний диаметр внутреннего корпуса, Д3 - 34 мм

Внутренний диаметр внешнего корпуса, Д4 - 46 мм.

Остальные варьируемые параметры сведены в таблицу. В результате, в соответствии с отличительными признаками способа и устройства, обеспечено достижение положительного эффекта в виде повышения объемного содержания аморфной фазы, снижения количества растворенных в покрытии газов, в частности кислорода и азота, повышения технологичности заявленного технического решения вследствие снижения себестоимости напыления более качественного покрытия.

Пример 3. Аналогично примеру 2, но жидкость во внутренний канал не подавалась, т.е. избыточное давление не превышало 0,02 МПа (минимальную величину в 0,02 МПа определяют коэффициенты местного сопротивления в подающих магистралях). Имеет место крайне неудовлетворительное состояние покрытия. Пример характеризует необходимость подачи жидкости к наружной зоне плазменной струи.

Пример 4. Аналогично примеру 2, но избыточное давление воды составило 0,06 МПа. В результате наблюдалось пульсирующее истечение двухконтурной струи, т.е. количество расходуемой жидкости было недостаточно для ламинарного истечения. Имеет место неудовлетворительное состояние покрытия. Пример характеризует необходимость подачи жидкости под давлением, превышающим давление в газопорошковой плазменной струе.

Пример 5. Аналогично примеру 2, но напыление проводили при избыточном давлении жидкости в 0,55 МПа. Из характеристик покрытия видно, что положительный эффект достигнут.

Пример 6. Аналогично примеру 2, но напыление проводили при избыточном давлении жидкости в 0,58 МПа. Из характеристик покрытия видно, что положительный эффект не достигнут, в частности, значения по газосодержанию кислорода и азота в покрытии больше чем в прототипе. Примеры 5 и 6 позволяют обосновать верхнее значение допустимого давления жидкости.

Пример 7. Аналогично примеру 2, но напыление проводили при расходе плазмообразующего газа в  $5,4 \text{ м}^3/\text{ч}$  и расходе транспортирующего газа  $0,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ , т.е. отношение объемных расходов жидкости и плазмообразующего газа, формирующих двухконтурную струю, составило 0,01. Из характеристик видно, что положительный эффект достигнут.

Пример 8. Аналогично примеру 2, но напыление проводили при расходе плазмообразующего газа в  $5,1 \text{ м}^3/\text{ч}$  (отношение составило 0,0106). В результате повысилось количество кислорода в покрытии, а количество азота в покрытии превысило значение для прототипа. Положительный эффект не достигнут. Примеры 7 и 8 позволяют обосновать соотношение объемных расходов жидкости и плазмообразующего газа.

Пример 9. Аналогично примеру 2, но напыление проводили в условиях, когда количество жидкости, прокачиваемой через охлаждаемую насадку, составило 20 л/мин. Имеет место положительный эффект.

Пример 10. Аналогично примеру 2, но напыление проводили в условиях, когда количество жидкости, прокачиваемой через насадку, составило 21 л/мин. В результате снизилось количество аморфной фазы, положительный эффект не достигнут. Примеры 9 и 10 позволяют обосновать количество прокачиваемой жидкости.

Пример 11. Аналогично примеру 2, но внутренний корпус был изготовлен с диаметром внутреннего канала, равным 14 мм, т.е. двум диаметрам выходного отверстия плазмотрона. В результате, при общем приемлемом состоянии покрытия, наметилась тенденция к ухудшению характеристик относительно аналогичных по примеру 2, однако есть основания считать, что положительный эффект достигнут.

Пример 12. Аналогично примеру 2, но диаметр внутреннего канала составил 13 мм, т.е. 1,86 диаметра выходного отверстия плазмотрона. В результате имеет место резкое ухудшение характеристик покрытия. Примеры 11 и 12 позволяют обосновать нижнюю границу соотношения диаметров внутреннего канала и отверстия плазмотрона.

Пример 13. Аналогично примеру 2, но диаметр внутреннего канала составил 35 мм, т.е. пять диаметров выходного отверстия плазмотрона. В результате наметилась тенденция к ухудшению характеристик покрытия.

Пример 14. Аналогично примеру 2, но диаметр внутреннего канала составил 36 мм, т.е. 5,1 диаметра выходного отверстия плазмотрона. В результате - полное отсутствие положительного эффекта. Примеры 13 и 14 позволяют обосновать верхнюю границу соотношения диаметров внутреннего канала и отверстия плазмотрона.

Пример 15. Аналогично примеру 2, но внешний диаметр внутреннего корпуса составил 33 мм, т.е. расстояние между внутренним корпусом и внешним имело значение, равное толщине внутреннего корпуса. В результате наметилась тенденция к ухудшению характеристик покрытия.

Пример 16. Аналогично примеру 2, но внешний диаметр внутреннего корпуса составил 32 мм, т.е. расстояние между внутренним и внешним корпусами стало больше толщины внутреннего корпуса. В результате, учитывая и появившуюся пульсацию потока, существенно снизились характеристики покрытия, имеет место отсутствие положительного эффекта. Примеры 15 и 16 позволяют обосновать приемлемое расстояние между корпусами.

Пример 17. Аналогично примеру 2, но использовался внутренний корпус с соотношением суммарной площади капиллярных отверстий и внутренней поверхности внутреннего корпуса, равным 0,001. В результате при общем приемлемом состоянии покрытия наметилась тенденция к ухудшению характеристик.

Пример 18. Аналогично примеру 2, но отношение суммарной площади капиллярных отверстий и площади внутренней поверхности внутреннего корпуса составило 0,00095. В результате имеет место полное отсутствие положительного эффекта. Примеры 17 и 18 позволяют обосновать нижнюю границу соотношения суммарной площади капиллярных отверстий и площади внутренней поверхности внутреннего корпуса.

Пример 19. Аналогично примеру 2, но отношение суммарной площади капиллярных отверстий к площади внутренней поверхности внутреннего корпуса составило 0,025. В результате наметилась тенденция к ухудшению характеристик покрытия.

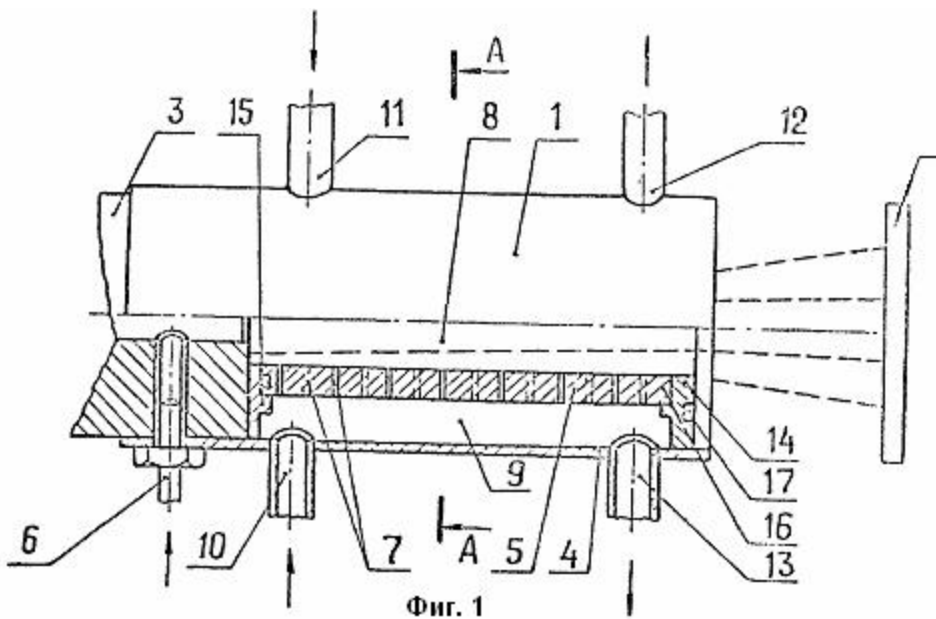
Пример 20. Аналогично примеру 2, но отношение суммарной площади капиллярных отверстий к площади поверхности внутреннего корпуса составило 0,026. Имеет место полное отсутствие положительного эффекта. Примеры 19 и 20 позволяют обосновать верхнюю границу соотношения суммарной площади капиллярных отверстий и площади внутренней поверхности внутреннего корпуса.

Пример 21. Аналогично примеру 2, но в качестве захлаживающей среды использовали нашатырный спирт. В результате - существенное улучшение характеристик покрытия, имеет место положительный эффект. Пример позволяет обосновать применение различных охлаждающих сред, а также реализацию некоторых дополнительных положительных эффектов, а именно: расширение технологических возможностей за счет появившейся возможности создания контура вокруг газопорошкового потока с управляемым химическим составом.

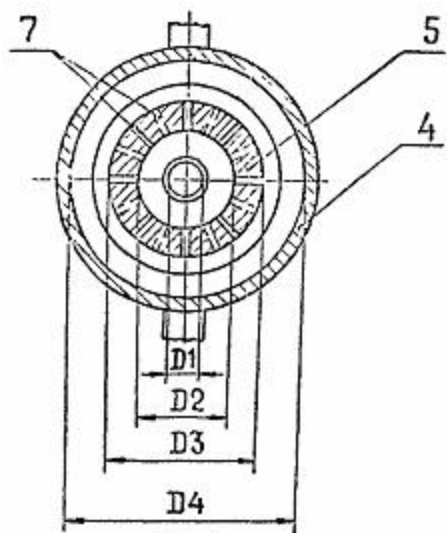
Пример 22. Аналогично примеру 2, но капилляры располагались в точках пересечения равномерно удаленных друг от друга образующих внутреннего канала (т.е. не в шахматном порядке). Результат - полное отсутствие положительного эффекта. Пример позволяет обосновать расположение капиллярных отверстий в шахматном порядке.

Пример	Захлаживающая среда	Отношение расходов захлаж. среды и плазмооб. газа	Избыточ. давление захлаж. среды, МПа	Количество прокачиваем жидкости, л/мий	Отношен. диаметр. канала и диаметр. плазмотрона	Отношение сум. площ. капил. к внутрен. поверхн	Расстоян. между корпус., мм	Характеристики покрытия		
								Количес. аморфн фазы. %	Газосодержание	
									[O <sub>2</sub> ], %	[N <sub>2</sub> ], %
1Прот.	Аргон	0,46	1,0	-	7,1	-	-	90	0,26	015
2	вода	0.0051	0,35	10	2,86	0,01	8	100	0,10	005
3	вода	0	0,015	10	2,86	0,01	6	49	1,9	1,2
4	вода	0,0051	0,06	10	2,86	0,01	6	85	0,63	0,45
5	вода	0,0051	0,55	10	2,86	0,01	6	100	0,08	0,05
6	вода	0,0051	0,58	10	2,86	0,01	6	100	0,39	0,2
7	вода	0,01	0,35	10	2,88	0,01	6	100	0,09	0,04
8	вода	0,0106	0,35	10	2,86	0,01	6	100	0,12	0,23
9	вода	0,01	0,35	20	286	0,01	6	100	0,1	0,05
10	вода	0,01	0,35	21	2,86	0,01	6	96	0,12	0,12
11	вода	0,0051	0,35	10	2,0	0,01	5,5	100	0,75	0,15
12	вода	0,0051	0,35	10	1,86	0,01	5,5	86	0,3	0,21
13	вода	0,0051	0,35	10	5,0	0,01	5,5	100	0,81	0,52
14	вода	0,0051	0,35	10	5,1	0,01	5,5	89	1,2	10
15	вода	0,0051	0,35	10	2,86	0,01	6,5	100	0,15	0,06
16	вода	0,0051	0,35	10	2,86	0,01	7,01	90	0,43	0,33
17	вода	0,0051	0,35	10	2,86	0,001	6	98	0,95	0,63
18	вода	0,0051	0,35	10	2,86	0,00095	6	85	1,3	0,9
19	вода	0,0051	0,35	10	2,88	0,025	6	100	0,43	0,1
20	вода	0,0051	0,35	10	2,86	0,026	6	88	0,51	0,23
21	10%-р-р N <sub>3</sub>	0,0051	0,35	10	2,86	0,01	6	100	0,03	0,02
22	вода	0,0051	0,55	10	2,86	0,0125	6	93	0,96	0,83

Примечание: Изменение параметров описано в тексте.



A-A



Фиг. 2