

**Исследование плазменного напыления молибденом на поршневые кольца  
автомобиля КрАЗ**

**Дослідження плазмового напилення молібденом на поршневі кільця автомобіля  
КрАЗ**

**Investigation of plasma spraying with molybdenum on the piston rings of the KrAz vehicle**

Научный руководитель – доц. каф. «Технологии конструкционных материалов и материаловедения» Синьковский А. С., Сіньковський А. С., Sinkovsky A. S.

Бакалавр - Козак А. Ю., Козак А. Ю., Kozak A. Y.

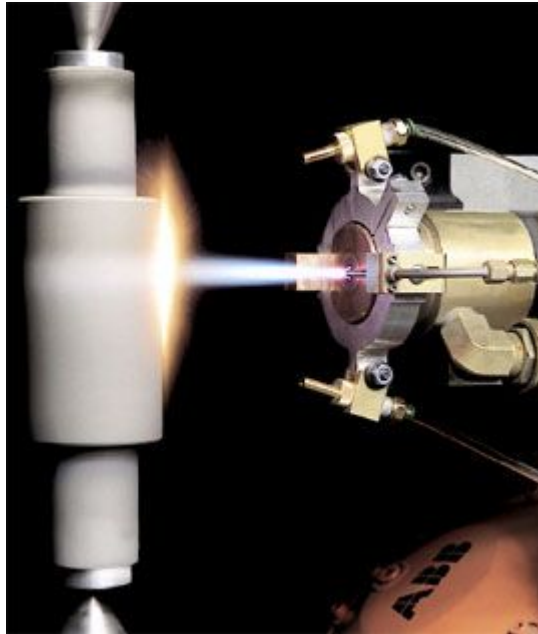
Аннотация: При плазменном способе нанесения покрытий, напыляемый молибден разогревается до жидкого состояния и переносится на обрабатываемую поверхность при помощи потока плазмы с высокой температурой. Напыляемый материал выпускается в виде прутков, порошков или проволоки. Порошковый способ наиболее распространенный.

Анотація: При плазмовому способі нанесення покриттів, напилюваний молібден розігрівається до рідкого стану і переноситься на оброблювану поверхню за допомогою потоку плазми з високою температурою. Напилюваний матеріал випускається у вигляді прутків, порошків або дроту. Порошковий спосіб найбільш поширений.

Abstract: In the plasma coating method, the sputtered molybdenum is heated to the liquid state and transferred to the treated surface by means of a high temperature plasma stream. The sprayed material is available in the form of bars, powders or wires. The powder method is the most common.

Уникальность метода плазменного напыления заключается в высокой температуре (до 50 тыс. градусов по Цельсию) плазменной струи и высокой скорости (до 500 м/с) движения частиц в струе. Нагрев же напыляемой поверхности невелик и составляет не более 200 град.

Производительность плазменного напыления составляет 3-20 кг/ч для плазмотронных установок мощностью 30..40 кВт и 50-80 кг/ч для оборудования мощностью 150...200 кВт.



*Плазменное напыление*

Прочность сцепления покрытия с поверхностью детали в среднем равна 10-55 МПа на отрыв, а некоторых случаях — до 120 МПа. Пористость покрытия находится в пределах 10...15%. Толщина покрытия обычно не более 1 мм, так как при ее увеличении в напыляемом слое возникают напряжения, стремящиеся отделить его от поверхности детали.

**Плазменно-дуговое напыление в сочетании с одновременной обработкой поверхности вращающейся металлической щеткой позволяет уменьшить пористость покрытия до 1-4%, а общую толщину напыления увеличить до 20 мм.**

Плазмообразующими газами служат азот, гелий, аргон, водород, их смеси и смесь воздуха с метаном, пропаном или бутаном.

Для плазменного напыления используют проволоку, в том числе порошкового типа, порошки из черных и цветных металлов, никеля, молибдена, хрома, меди, оксиды металлов, карбиды металлов и их композиции с никелем и кобальтом, сплавы металлов, композиционные материалы (никель-графит, никель-алюминий и др.) и механические смеси металлов, сплавов и карбидов. Регулирование режима напыления позволяет наносить как тугоплавкие материалы, так и легкоплавкие.

Основой для плазменного напыления могут служить металлы и неметаллы (пластмасса, кирпич, бетон, графит и др.). Для нанесения покрытий на небольшие

поверхности применяется микроплазменный способ напыления, который позволяет сэкономить потери напыляемого материала (ширина напыления 1-3 мм).



*Детали плазмотрона*

С целью повышения адгезии напыленных покрытий, защиты от окисления, уменьшения пористости используется **метод плазменного напыления в защитной среде (вакуум, азот, смесь азота с аргоном и водородом) и с применением специальных сопел, закрывающих область между распылителем и обрабатываемой поверхностью.** Перспективным направлением в технологии плазменного напыления является **сверхзвуковое напыление.**

Процесс плазменного напыления включает 3 основных этапа:

- 1) Подготовка поверхности.
- 2) Напыление и дополнительная обработка покрытия для улучшения свойств.
- 3) Механическая обработка для достижения чистовых размеров.

Предварительные размеры поверхностей под напыление должны быть определены с учетом толщины напыления и припуска на последующую механическую обработку. Переходы поверхностей должны быть плавными, без острых углов, во избежание отслаивания покрытия. Отношение ширины паза или диаметра отверстия к его глубине должно быть не меньше 2.



*Порошки для напыления*

Детали перед напылением должны быть тщательно очищены и обезжирены. Ремонтные детали, имеющие замасленные пазы или каналы, следует нагреть в печи при температуре 200-340 град. в течение 2-3 часов для выпаривания масла.

Далее производится активация поверхности — придание ей определенной шероховатости для обеспечения адгезии. Активацию производят при помощи обдува детали сжатым воздухом с абразивом или нарезанием рваной резьбы.

Абразив выбирают зернистостью 80...150 по ГОСТ3647, или применяют чугунную/стальную дробь ДЧК, ДСК №01...05 по ГОСТ 11964.

Металлическая дробь не применяется для обработки жаростойких, коррозионно-стойких сталей и цветных металлов и сплавов, т. к. может вызвать их окисление.

Шероховатость поверхности под плазменное напыление должна составлять 10...60 Rz, поверхность должна быть матовой.

Поверхности, не подлежащие абразивной обработке, защищают экранами. Зона обдува на  $5\pm 2$  мм должна быть больше, чем номинальный размер напыленной поверхности.

Тонкие детали закрепляют в приспособлениях с целью предотвращения их коробления во время обработки.

Расстояние от сопла до детали при абразивно-струйной обработке должно находиться в пределах 80...200 мм, меньшие значения принимают для более твердых материалов, большие — для мягких. После этого детали обеспыливают путем обдува сжатым воздухом.

Промежуток времени между очисткой и напылением должен составлять не более 4ч, а при напылении алюминия и других быстро окисляющихся материалов — не более часа.

Нарезание рваной резьбы вместо абразиво-струйной обработки применяют для деталей с формой тел вращения. Резьбу нарезают на токарном станке обычным резьбовым резцом, смещенным ниже оси детали. Резьбу нарезают без охлаждения за один проход. Шаг резьбы выбирают по таблице 1.

**Таблица 1 — Шаг рваной резьбы.**

<b>Диаметр детали, мм</b>	<b>Шаг рваной резьбы, мм</b>
До 20	0,5
25...50	0,8-1,0
60...100	1,5

Для плазменного напыления следует применять порошки одной фракции, форма частиц — сферическая. Оптимальный размер частиц для металлов составляет около 100 мкм, а для керамики — 50...70 мкм. В случае, если порошки хранились в негерметичной таре, их нужно прокалить при температуре 120...130 градусов в течение 1,5-2 ч в сушильном шкафу.

Те части детали, которые не подвергаются напылению, защищают экранами из асбеста или металла, или обмазками.

Предварительный подогрев детали перед напылением осуществляют плазмотроном до температуры 150...180 градусов.

Режимы обработки определяют опытным путем. Средние значения режимов плазменного напыления следующие:

- 1) Расстояние от сопла до детали — 100...150 мм.
- 2) Скорость струи — 3...15 м/мин.
- 3) Скорость вращения детали — 10...15 м/мин.
- 4) Угол напыления — 60...90 градусов.

В таблице 2 приведены рекомендуемые режимы для различных материалов.

Тип напыляемого материала	Режимы источника питания для:				Расход плазмообразующих газов, куб.м/ч	
	аргона		азота		аргон	азот
	Напряжение, В	Сила сварн. тока, А	Напряжение, В	Сила сварн. тока, А		
Самофлюсующиеся никелевые сплавы	65-75	450-460	75-85	450-460	3,6-4,0	3,1-3,6
Сплавы: Ni-Al, Ni-Ti	65-75	430-435	80-85	430-435	3,0-3,6	2,9-3,1
Бронза	60-70	490-500	74-80	490-500	3,2-3,6	3-3,1
Алюминий	60-60	490-500	74-80	490-500	3,6-4	3,1-3,5

Тип напыляемого материала	Расход транспортирующего газа, куб.м/ч	Давление плазмообразующих газов, МПа		Дистанция напыления, мм	Расход порошка, кг/ч	Коэффициент использования порошка, %
		аргон	азот			
Самофлюсующиеся никелевые сплавы	0,5-0,8	0,70-0,78	0,35-0,40	140-160	8-10	50-55
Сплавы: Ni-Al, Ni-Ti	0,6-0,8	0,6-0,7	0,3-0,35	140-155	7-9	45-50
Бронза	0,4-0,7	0,65-0,7	0,3-0,35	140-150	7,5-9	55-60
Алюминий	0,45-0,75	0,65-0,7	0,3-0,35	140-150	8-9	60-65

Общую толщину покрытия набирают несколькими циклами с перекрытием полос напыления на 1/3 диаметра пятна напыления.

После напыления деталь снимают с плазмотрона, удаляют защитные экраны и охлаждают до комнатной температуры.

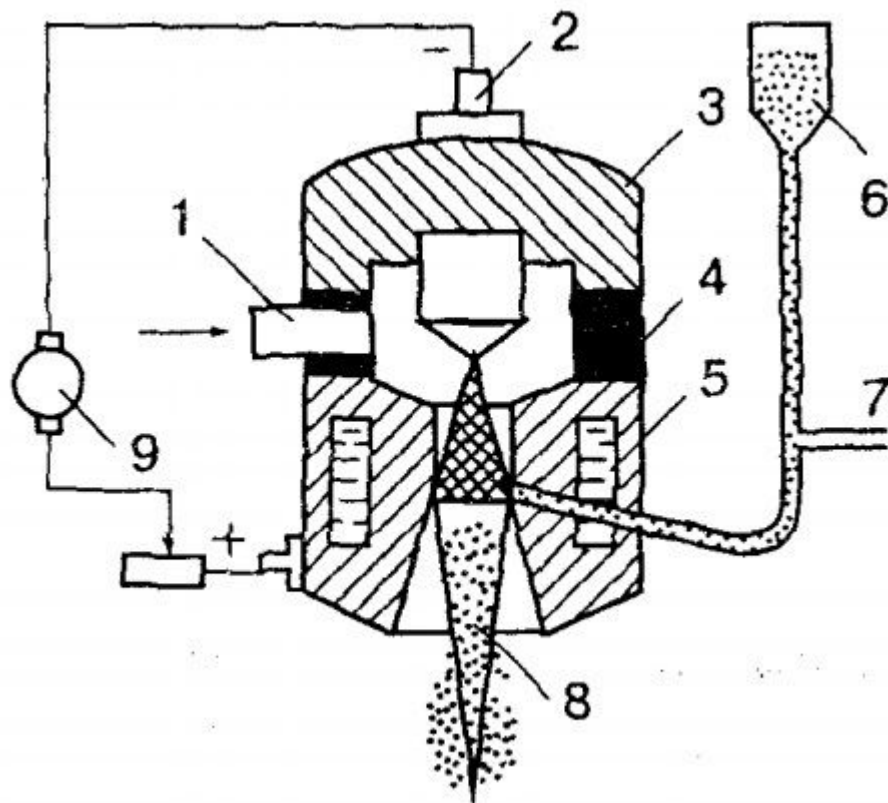


Рисунок 1 - Принципиальная схема плазменного порошкового напыления: 1 - подвод плазмообразующего газа, 2 - катод плазмотрона, 3 - корпус катода, 4 - изолятор, 5 - корпус анода, 6 -порошковый питатель, 7 - подвод газа-носителя порошка, 8 - плазменная дуга, 9 - источник питания.

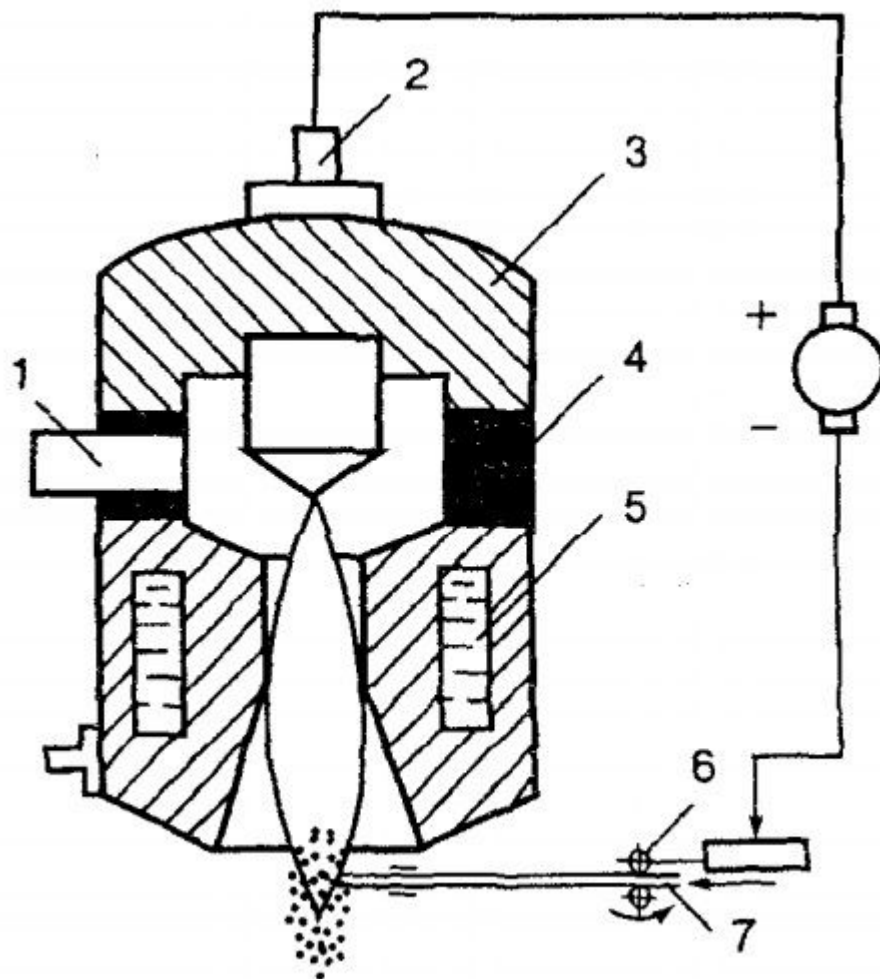


Рисунок 2 - Принципиальная схема плазменного напыления с применением проволоки: 1 - подвод плазмообразующего газа, 2 - катод плазмотрона, 3 - корпус катода, 4 - изолятор, 5 - корпус анода, 6 - механизм подачи проволоки, 7 - сплошная или порошковая проволока, 8 - плазменная дуга, 9 - источник питания.



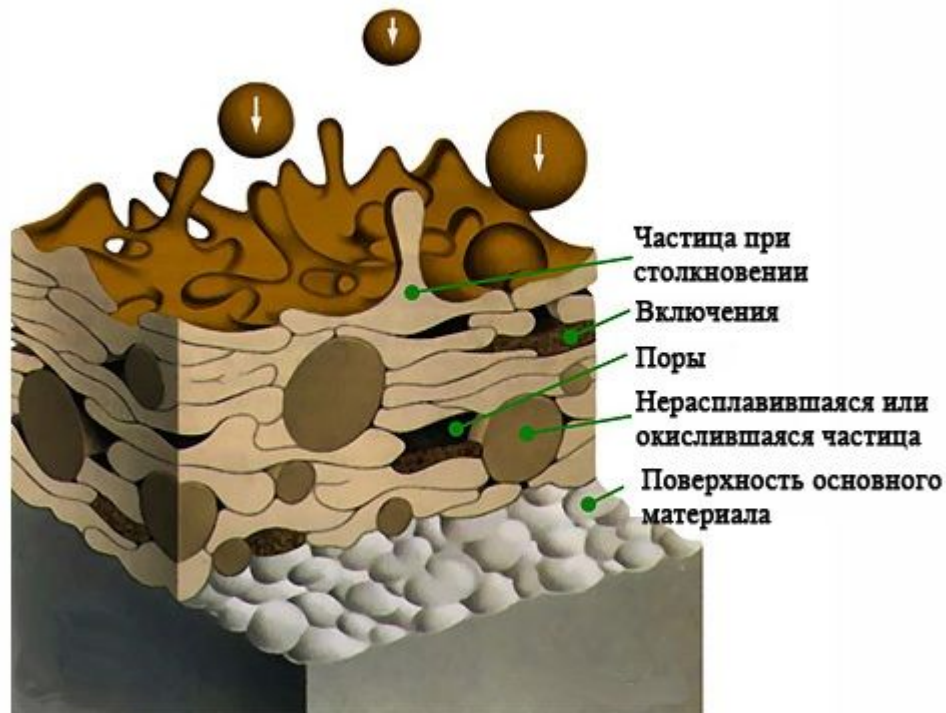


Рисунок 3 - Структура покрытия, напыленного плазменным способом

**Для улучшения качества напыленных покрытий применяют следующие приемы:**

- 1) обкатка роликами под электрическим током;
- 2) напыление с одновременной обработкой металлическими щетками;
- 3) оплавление покрытий из самофлюсующихся сплавов. Оплавление производят с помощью печей, ТВЧ, нагретых расплавов солей и металлов, плазменным, лазерным или газопламенным способом. Температура оплавления покрытия никель-хром-бор-кремний-углерод составляет 900..1200 градусов.

Чистовые размеры деталей после плазменного напыления получают точением и шлифованием с охлаждением водными растворами и водно-масляными эмульсиями. Шлифкруги выбирают из электрокорунда марки Э на керамической связке, зернистостью 36...46, твердостью СН. Режимы шлифования следующие: скорость вращения круга 25...30 м/с, подача круга 5...10 мм/об, скорость вращения детали 10...20 м/мин, подача детали 0,015...0,03 мм/дв.х.

Далее производят окончательный контроль, в случае, если на поверхности детали с напылением есть трещины, отслоения, риски, чернота, не выдержаны чистовые размеры, то деталь возвращают на исправление дефекта (не более 1 раза), при этом область напыления должна быть увеличена на 10...15 мм по периметру.