

УДК 621.793.74

С.Ю. Жачкин, Г.И. Трифонов

S.Yu. Zhachkin, G.I. Trifonov

Воронежский государственный технический университет

Voronezh State Technical University

**ВЛИЯНИЕ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ
КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ
НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

**INFLUENCE OF PLASMA SPRAYING
OF COMPOSITE POWDER MATERIALS
ON THE WEAR RESISTANCE OF MACHINE PARTS**

Проведена аналитическая работа по подбору износостойкого покрытия для напыления композиционных порошковых материалов. Выведен алгоритм для экспериментальных исследований материалов, используемых при плазменном напылении. Разработано и предложено устройство по определению коэффициента трения напыленных поверхностей деталей.

Ключевые слова: плазменное напыление, композиционные порошковые материалы, шнек, износостойкость, коэффициент трения.

The article presents analytical work on the selection of a wear-resistant coating for deposition of composite powder materials and derived the algorithm for experimental studies of materials used in plasma spraying. Also developed and proposed a device for determining coefficient of friction of sputtered surfaces.

Keywords: plasma spraying, composite powder materials, auger, wear resistance, coefficient of friction.

На сегодняшний день одной из актуальных и главных задач, стоящих перед машино- и авиастроением, является повышение износостойкости деталей машин.

Для многих типовых условий работы деталей машин самым распространенным видом изнашивания является абразивное. Абразивным называется изнашивание поверхности детали под воздействием твердых частиц, которые обладают различной формой, размером и твердостью [1].

Ярким примером абразивного износа детали машин являются рабочие поверхности шнека, пример которого приведен на рис. 1.

Износ шнека носит абразивный характер. Следует отметить, что износ обычно составляет доли миллиметров, при этом шнек уже не может обеспечить нормальное протекание технологического процесса и должен быть заменен.

Для его восстановления необходимы наплавка или напыление слоя небольшой толщины на торцевую часть витка («ленточку») шнека, при этом ширина самой «ленточки» составляет, как правило, несколько миллиметров.

В данной статье описывается алгоритм подбора оптимального композиционного порошкового материала для плазменного напыления с целью повышения износостойкости рабочих поверхностей деталей машин, в частности шнека.

Для проверки соблюдения одних из основных требований к износостойкому покрытию предлагается установка по определению коэффициента трения поверхностей до и после применения плазменного напыления.

Плазменное напыление осуществляется с помощью плазменной струи. Поток плазмы характеризуется следующими показателями: температурой в ядре (20 000–30 000 К), скоростью струи (300–2000 м/с). Схема плазменного напыления представлена на рис. 2. Наносимый материал в виде порошка вводится в струю плазмы, нагревается и разгоняется в процессе нагрева до скорости порядка нескольких сотен метров в секунду.

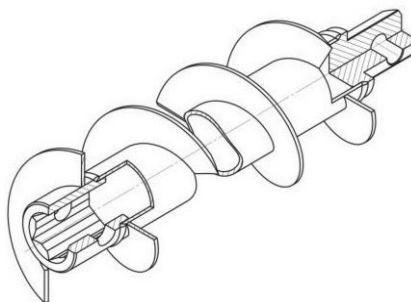


Рис. 1. Эскиз шнека

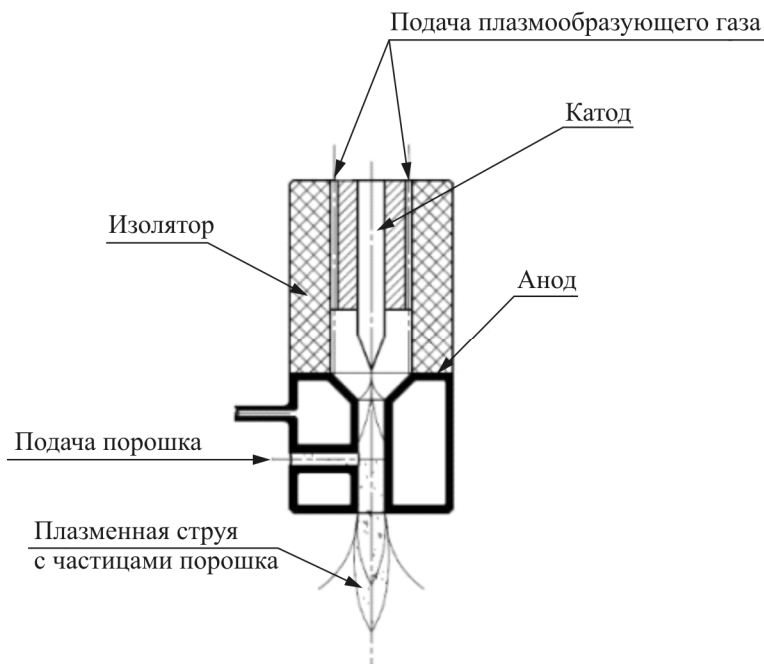


Рис. 2. Схема наносимого плазменного покрытия

В практике плазменного напыления применяют как однородные порошки различных материалов, так и композиционные. Для выбора материала напыления поверхностей деталей машин возможно использование подбора материала по функциональному назначению покрытий (табл. 1) [2].

Таблица 1

Функциональное назначение покрытий

№ п/п	Материал покрытий	Характеристика поверхностного слоя, улучшаемая с помощью нанесения покрытий
1	Al ₂ O ₃ , Al–Ni, Cr–B–Ni–Si, Ni–Ti, Mo, Cr ₂ O ₃ , Cr, WC, MgAl ₂ O ₄	Износостойкость
2	Al, Al ₂ O ₃ , Cr, Ti, Zn, Cr ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ –TiO ₂	Коррозионная стойкость
3	Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ , Al–Ni, Mo, ZnB, MgAl ₂ O ₄	Термостойкость
4	ZrO ₂ , WC–CO, TiC, Cr ₂ O ₃ , Cr–B–Ni	Эрозионная стойкость
5	W, Mo, WC, Cr–Ni, MoSi ₂ , MgAl ₂ O ₄	Жаропрочность
6	Al–Ni, Ti–Ni, Al ₂ O ₃ , ZrO ₂	Антисхватывание подвижных узлов
7	Al ₂ O ₃ , NiSi ₂ , Al–Ni, ZrO ₂	Теплоизоляция
8	Al ₂ O ₃ , BaTiO ₃ , SiO ₂ , MgO–Al ₂ O ₃	Электроизоляция
9	Mo, Ti–Ni, Al, Ni	Герметичность соединений

Рассматриваемый нами образец (шнек) по характеру работы и ввиду повреждений контактных поверхностей и дефектов общей конструкции, образовавшихся при эксплуатации, нуждается в износостойком покрытии.

Согласно работе [3] определены следующие основные требования к структуре износостойкого покрытия:

1. Для уменьшения интенсивности изнашивания микроконтактным схватыванием предпочтительны покрытия, содержащие Ni, Cr, C, Si, которые позволяют увеличить их твердость.

2. Предпочтительны покрытия из композиционных материалов с неоднородной структурой, создающей условия для эффективного рассеяния подводимой при трении энергии во избежание концентрации напряжений на поверхности трения.

3. Для уменьшения интенсивности абразивного изнашивания предпочтительны покрытия с высокой твердостью, при этом они должны быть чувствительными к упрочнению рабочей поверхности, что реализуется при введении в состав покрытий хрома, марганца. Большему содержанию углерода должно соответствовать меньшее содержание хрома.

Исходя из вышеизложенных требований, можно сделать вывод о том, что материалы для износостойких покрытий должны иметь высокую твердость, большой модуль упругости и малый коэффициент трения. Следовательно, основываясь на номенклатуре материалов для напыления, возможен оптимальный подбор композиционного порошка для плазменного покрытия.

Важными показателями качества порошков для напыления являются стабильность их химического состава, а также их теплофизические свойства, которые могут быть конкретизированы исходя из процесса напыления. К таким свойствам порошковых материалов относятся плотность, теплоемкость, теплопроводность, их размер и форму.

Кроме того, при формировании композиционного порошка для напыления особенно тщательно необходимо контролировать содержание углерода и количество органической связки в порошках. Из примесей большое значение имеет содержание кислорода, а также азота и водорода. Допустимое значение газовых примесей сформировано в DIN 32 529 и приведено в табл. 2.

Таблица 2

Допустимое содержание газовых примесей
в порошках для напыления

Порошок	Содержание, %			
	O	C	N	H
Al	0,5	–	–	–
Ti	0,3	0,3	0,3	0,1
Cr	0,8	0,1	0,1	–
Ni	0,5	0,1	0,1	–
Nb	0,3	0,3	0,3	0,1
Mo	0,3	0,15	0,1	–
Ta	0,3	0,3	0,3	0,1
W	0,3	0,15	0,1	–

Элементы Cr, В, С и другие должны обеспечивать повышенную интегральную твердость покрытий для улучшения их антизадирных свойств и уменьшения коэффициента трения.

Для проверки и подтверждения улучшения заявленных характеристик у детали после применения плазменного напыления используют специальные машины для определения конкретного технического показателя.

Основываясь на том, что основной показатель после изменения износостойкости поверхности детали является ее износ, который зависит от силы трения и других физико-механических факторов, можно полагать, что уменьшение коэффициента трения будет одним из основных показателей, подтверждающих необходимость использования технологии плазменного напыления.

В ходе исследования были получены следующие результаты.

1. После анализа всех факторов, влияющих на качество износостойкого покрытия, материалом для напыления может служить самофлюсующийся сплав ПГ-СРЗ, так как его химический состав соответствует перечисленным требованиям к износостойкому покрытию.

Поскольку ПГ-СРЗ, как и другие материалы для напыления, имеет свои недостатки и свойства после произведенного напыления, то имеет место быть

комбинирование его химического состава с другими промышленными добавками, например с другими порошками или оксидами металлов.

Теоретически рассматривается внедрение в состав порошка самофлюсующихся сплавов (ПГ-СПЗ) доли карбида титана (TiC), что должно уменьшить интенсивность абразивного изнашивания детали, концентрацию напряжений на поверхности трения и повысить твердость покрытия.

В результате у напыляемых поверхностей шнека увеличится микротвердость и снизится пористость напыляемого слоя, что повлечет за собой улучшение механических характеристик.

2. Опираясь на степень изменения коэффициента трения после плазменного напыления композиционного порошка, можно судить о дальнейшем износе детали.

Существуют различные установки и способы по определению коэффициента трения, но они имеют недостатки (сложность конструкции, что повлечет сложности при сборке, ограниченность в формах и размерах испытываемых образцов, а также дороговизна общей конструкции).

У предлагаемой установки по определению коэффициента трения данные недостатки отсутствуют.

Схема установки для определения коэффициента трения у испытываемого образца показана на рис. 3.

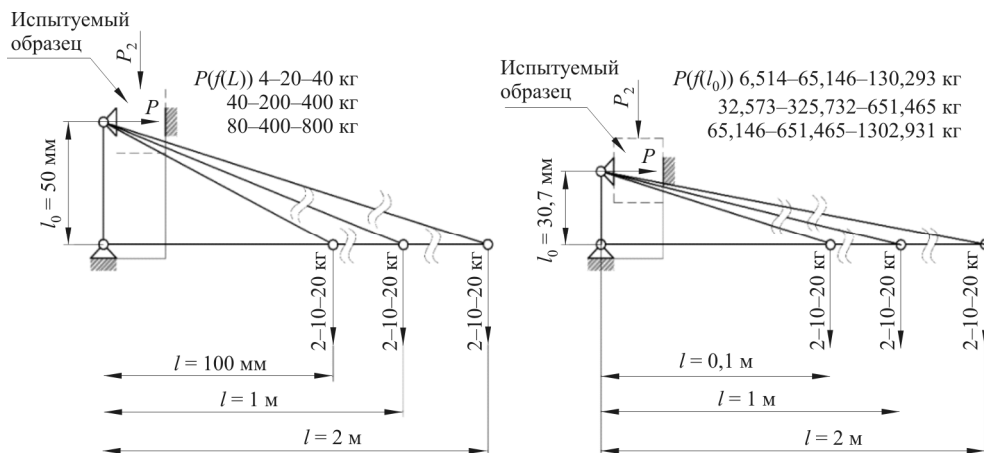


Рис. 3. Установка для определения коэффициента трения у испытываемого образца

Принцип работы заключается в применении простого рычага. На шарнире размещены два рычага длиной l и l_0 , имеющие возможность изменять свою длину. Рычаги закрепляются на шарнирной опоре с возможностью вращения вокруг оси шарнира. Подвесив груз массой m на плече l , мы получим силу, которая создаст крутящий момент на оси шарнира. Разложив момент относительно плеча l_0 ,

получим удельное давление p . Используя жесткую опору и шарнир, размещаем испытуемый образец и нагружаем его удельным давлением p .

Удельное давление определяется по формуле

$$p = \frac{(l \cdot m) / l_0}{S},$$

где S – площадь давления испытуемого образца.

Приложив к образцу силу P_2 , получим силу трения. Следовательно, зная данные величины, становится возможным экспериментальное определение коэффициента трения:

$$\mu = \frac{P_2}{p}.$$

Изменение удельного давления осуществляется посредством изменения массы подвешиваемого груза, а также длины плеча l .

Таким образом, в ходе исследования была проведена аналитическая работа по подбору износостойкого покрытия для напыления композиционных порошковых материалов. Был выведен алгоритм для экспериментальных исследований материалов, используемый при плазменном напылении. Данный подход к выбору материала напыления для плазменной обработки позволит не только восстановить изношенную деталь, но и увеличить срок службы на 30–40 %.

Кроме того, предложено устройство по определению коэффициента трения напыленных поверхностей деталей, которое имеет преимущества перед аналогами, такие как простота сборки, дешевизна, возможность снятия показателей в лабораторной среде любого уровня и возможность работы с образцами любого материала и массы.

Плазменное напыление композиционных порошковых материалов обеспечивает увеличение долговечности шнека в 2–3 раза, что в десятки раз снизит затраты на ремонт.

Список литературы

1. Расчет микротвердости композитных хромовых покрытий при восстановлении деталей и узлов сельскохозяйственной техники / С.Ю. Жачкин, А.Н. Пеньков, О.А. Сидоркин, А.И. Краснов // Вестник Мичурин. гос. аграр. ун-та. – 2014. – № 3. – С. 52–55.

2. Цырлин М.И., Родченко Д.А. Концепция комплексного моделирования процесса плазменного напыления покрытий на основе порошковых полимерных материалов // Новые технологии в машиностроении и вычислительной технике: тр. НТК. – Брест: Изд-во Брест. политехн. ин-та, 1998. – С. 73–76.

3. Процессы формирования газотермических покрытий и их моделирование / А.Ф. Ильющенко, А.И. Шевцов, В.А. Оковитый, Г.Ф. Громыко. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 357 с.

Получено 06.04.2017

Жачкин Сергей Юрьевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированное оборудование машиностроительного производства», Воронежский государственный технический университет, e-mail: zhach@list.ru.

Трифонов Григорий Игоревич – соискатель кафедры «Автоматизированное оборудование машиностроительного производства», Воронежский государственный технический университет, e-mail: grishakip@yandex.ru.