

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОЕ ПЛАЗМЕННОЕ УПРОЧНЕНИЕ

ФИЛЬКОВ М.Н.¹, ТОПОЛЯНСКИЙ П.А.², КРУШЕНКО Г.Г.³, ДУНАЕВ А.В.¹

¹ ГОСНИТИ Россельхозакадемии, Москва, ² Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Санкт-Петербург, ³ Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск, Россия

Низкотемпературное высокочастотное плазменное нанесение упрочняющих покрытий прошло развитие от экспериментальных работ до промышленного внедрения.

Ключевые слова: покрытия, плазма, высокочастотный индукционный плазмотрон, соединения кремния, износостойкость.

Упрочнение изнашивающихся деталей реализуется множеством технологий [1, 2], одна из них – низкотемпературное высокочастотное плазменное нанесение тонкопленочных покрытий из соединений кремния. Промышленная апробация этой технологии проводилась на кузнечно-прессовом производстве Алмаатинского завода тяжелого машиностроения. Основным элементом оборудования для нанесения покрытий (рис. 1) является высокочастотный индукционный плазмотрон (ВЧИ-плазмотрон). Рабочая частота ВЧИ-генератора - 1 МГц, потребляемая мощность 40 кВт. В качестве реакционных компонентов использовались различные кремнийорганические жидкости, плазмообразующим газом являлся аргон. Скорость формируемого ламинарного плазменного потока с температурой порядка 8773 К – 25-30 м/с. Диаметр пятна плазменной струи на обрабатываемой поверхности составлял 60 мм. Расстояние от среза сопла плазмотрона до детали поддерживалось постоянным - 45...60 мм.

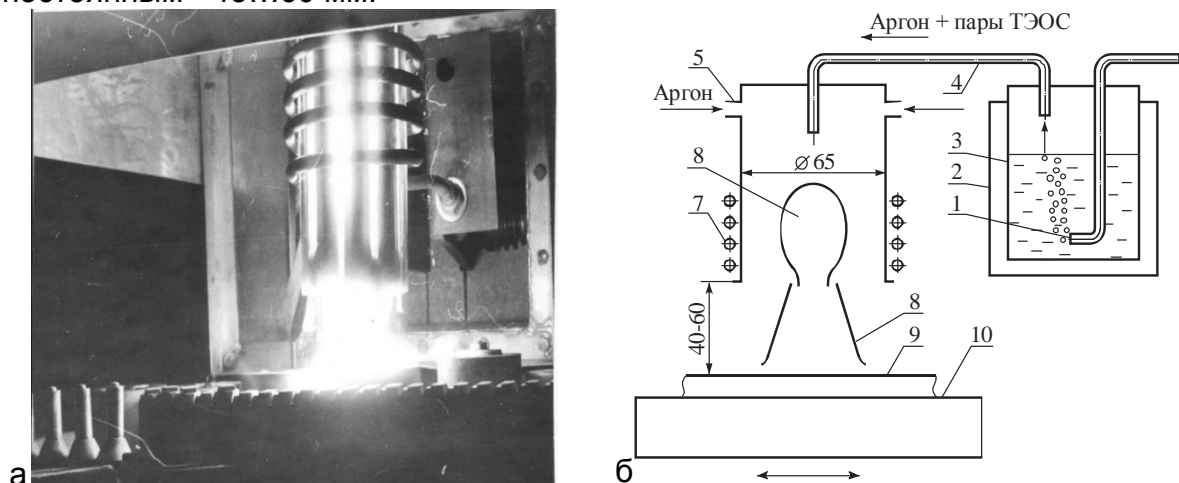


Рис. 1. Высокочастотный индукционный плазмотрон в работе (а) и схема подачи реагентов (б), где 1 – подача аргона, 2 – термостат, 3 – металлическая емкость; 4 – подача смеси аргона с парами реагента; 5 – газотворитель; 6 – реакционная камера; 7 – высокочастотный индуктор, 8 – плазменный факел с парами реагентов; 9 – обрабатываемое изделие; 10 – стол-манипулятор

В специальной герметичной металлической термостатированной (~363 К) емкости 2 производилось барботирование аргоном кремнийорганической жидкости. Получаемая газообразная смесь подавалась в газотворитель 5 высокочастотного индукционного плазмотрона и в разрядную камеру 6, где происходило разложение реагента с образованием атомарного кремния. При взаимодействии плазменной струи насыщенной атомами кремния с

обрабатываемой поверхностью формировалось износостойкое тонкопленочное покрытие.

Обрабатываемые матрицы и пуансоны штампов (рис. 2) устанавливали на стол-манипулятор, совершающий возвратно-поступательное перемещение с задаваемой скоростью. Перед обработкой детали обезжиривались.



Рис. 2. Вырубной штамп, используемый для изготовления рельефных изделий толщиной до 8 мм

Благодаря 40...50 секундному плазменному нанесению покрытия из соединений кремния на матрицу и пуансон из сталей, изготавливаемых из сталей У8 и У10, срок их службы увеличивался в 2,5 раза, а изготовленных из стали 7Х3 – в 8 раз. Это покрытие было также апробировано и для упрочнения штампов для вырубки деталей из алюминиевых конструкционных сплавов.

С целью определения трибологических характеристик данного упрочняющего покрытия (нанесенного с использованием аналогичного метода, только с применением электродуговой плазмы), проведены испытания трибопары по схеме «палец-диск» на трибометре TRB-S-DE (CSM Instruments, Швейцария) в условиях смазки моторным маслом М-10Г2К. Режим испытаний: приработка при нагрузке 5N на пятно острия пальца диаметром 0,8 мм, далее ступенчатое повышение нагрузки через 5N до 60N при скорости скольжений 1 м/с и пути трения с каждой нагрузкой от 50 до 1000 м до стабилизации коэффициента трения.

Результаты трибоиспытаний (рис. 3) показали снижение коэффициента трения в паре с диском, на которое нанесено покрытие на основе соединений кремния, от 0,075-0,1025 до 0,0025-0,06. Таким образом, при нагрузке 5N соответствующей максимальному контактному давлению по теории Герца 800 МПа, коэффициент трения уменьшается в 30 раз.

Различие в стойкости деталей штампов, изготовленных из сталей - У8 (У10) и 7Х3 объясняется разными адгезионными и физико-механическими свойствами покрытия, наносимого на материал подложки с отличающимися физико-химическими свойствами.

Исследования на сканирующем электронном микроскопе «Super-probe» с приставкой для микрорентгеноструктурного анализа не выявили наличие кремния на обработанных поверхностях, т.к. тонкая аморфная пленка рентгенофазовым анализом не идентифицируется.

Упрочнение деталей, в основном, связано с нанесением тонкопленочного аморфного покрытия на основе соединений кремния, которое не изменяет параметры шероховатости исходной поверхности, в отличие от микроплазменной технологии [1], когда высота микрорельефа H_{max} проплавленных поверхностей образцов из никель-хромистого сплава увеличивается с 2...3 мкм до 4,5...18 мкм.

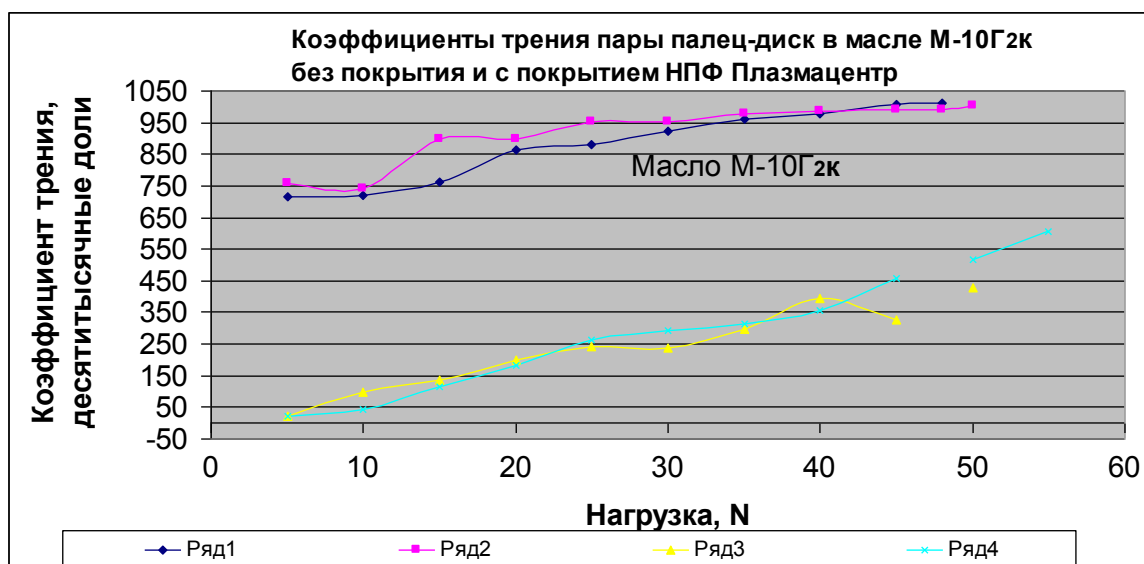


Рис. 3. Изменение коэффициента трения по схеме «палец-диск» при испытаниях в моторном масле М-10Г_{2к} диска без покрытия (ряд 1 и ряд 2) и диска с покрытием (ряд 3 и ряд 4) относятся к покрытию диска с использованием технологии финишного плазменного упрочнения, разработанной НПФ «Плазмацентр»

Данной технологии характерны высокая энергоемкость и громоздкость оборудования [3], сложность ремонта плазматрона, трудность упрочнения вертикальных поверхностей, большие расходы аргона и повышенный шум. Эти недостатки устранены в малогабаритном оборудовании, где для нанесения покрытий на основе соединений кремния используется электродуговой плазматрон [4]. При этом покрытие наносится без использования камер при атмосферном давлении с применением жидких летучих элементоорганических соединений и газовых сред с одновременной активацией поверхности электродуговой плазмой.

Наносимое покрытие толщиной 0,5-1,5 мкм на основе соединений кремния по технологии финишного плазменного упрочнения [4] имеет высокую твердость, низкий и сопоставимый с подложкой модуль упругости, высокую износостойкость, что подтверждено как модельными (рис. 3), так и производственными испытаниями.

Литература

1. Черноиванов В.И. Фундаментальные исследования - основа инженерно-прикладных технологий // Труды ГОСНИТИ. 2009. Т. 103. С. 4-8
2. Иванов В.И. Классификация объектов, методологические и технологические особенности электроискрового упрочнения и увеличения ресурса // Труды ГОСНИТИ.-2010.-Т. 106. С. 31-41
3. Тополянский П.А. Нанесение износостойких покрытий на инструментальные стали и сплавы с использованием высокочастотного индукционного плазматрона// Металлообработка. 2003. № 5 (17). С. 27-32
4. Горленко А.О., Шупиков И.Л., Тополянский П.А., Тополянский А.П. Модификация рабочих поверхностей деталей нанесением упрочняющих покрытий//Металлообработка. 2012. № 2 (68). С. 31-36