

Бирюков И.С.

КБ «АРМАТУРА» - филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», г. Ковров

## **Плазменное упрочнение поверхности деталей электропневмогидроавтоматики**

На нашем предприятии ведется поиск технологий, улучшающих поверхность деталей, среди которых следует выделить оксиазотирование, гальваническое нанесение покрытий, вакуумное напыление покрытий на многопучковых установках.

Одним из современных методов упрочнения поверхности деталей, вызывающего интерес и проводимого с целью придания необходимой твердости, коррозионной стойкости является финишное плазменное упрочнение (ФПУ), которое выигрывает по многим показателям у таких способов, как ионно-плазменное напыление, лазерное и электроискровое упрочнение.

Процесс ФПУ заключается в нанесении алмазоподобного покрытия на основе оксикарбонитрида кремния при атмосферном давлении, получаемого при разложении специальных реагентов на основе металлорганических и органических соединений. При этом покрытие обладает высокой микротвердостью порядка 52 ГПа. Для сравнения: микротвердость алмаза – 72 ГПа, покрытия нитрида титана – 24 ГПа, деталей после закалки – 5 ГПа, после азотирования – 8 ГПа, после хромирования – 11 ГПа.

В процессе эксплуатации детали могут подвергаться разрушительному воздействию окружающей среды, вызывающему рост коррозии и быстрый выход изделия из строя. Покрытие, наносимое в процессе ФПУ, характеризуется химической стойкостью в атмосферном воздухе, по отношению к солям, щелочам и кислотам, за исключением плавиковой кислоты.

Процесс упрочнения протекает непосредственно "на воздухе", поэтому отпадает необходимость в конструкции сложных и габаритных вакуумных камер и иных агрегатов.

Толщина покрытий составляет порядка 2 мкм, что намного упрощает технологию изготовления деталей, которая может быть использована на заключительной стадии производства.

Шероховатость поверхности практически не изменяется при выполнении ФПУ.

Довольно низкая температура обработки (порядка 100-150<sup>0</sup>С) позволяет избежать нежелательных деформаций, что очень важно при обработке тонкостенных деталей и сталей с низкой температурой отпуска.

В процессе ФПУ на поверхности создаются сжимающие остаточные напряжения, что уменьшает вероятность растрескивания детали в процессе эксплуатации.

Покрытие, получаемое посредством ФПУ, обладает высокой адгезией по отношению к металлу и низким коэффициентом трения, что повышает устойчивость к истиранию, увеличивает долговечность детали, препятствует наростообразованию. Для сравнения, например, коэффициент трения скольжения бронзы по бронзе – 0,2; чугуна по чугуну – 0,16; фторопласту по фторопласту – 0,05. Коэффициент трения с покрытием ФПУ по стали Р6М5 – 0,07.

При ФПУ аморфное по своей структуре покрытие повышает устойчивость деталей к высоким температурам. Время обработки составляет всего несколько минут, что снижает время производственного цикла.

ФПУ не требует сложных подготовительных операций подготовки деталей под покрытие.

Мощность установки ФПУ порядка 6 кВт, площадь, занимаемая установкой – 1-2 м<sup>2</sup>, масса плазмотрона составляет около 1 кг, блока аппаратуры – менее 15 кг, источника питания – 15 – 100 кг, уровень шума процесса ФПУ не превышают нормативов.

Немаловажную роль играет высокая экологическая чистота по сравнению с другими методами упрочнения ввиду отсутствия твердых и жидких отходов в процессе эксплуатации и проведения ФПУ.

Необходимо отметить недостатки альтернативных ФПУ методов, которые для последнего не характерны. Лазерная и плазменная закалка при проведении в воздушной среде могут приводить к возникновению на поверхности деталей трудноудаляемых темных окислов, мешающих дальнейшей обработке. При вакуумном ионно-плазменном напылении заданная толщина покрытия варьируется в широком диапазоне ввиду неодинаковых условий нанесения покрытия на различные поверхности и труднодоступные участки, а также этот процесс характеризуется довольно высоким температурными требованиями нанесения покрытия – от 250 до 500<sup>0</sup>С. Электроискровое легирование не позволяет получать покрытия толщиной всего в несколько микрон. Финишное плазменное упрочнение лишено этих недостатков.

Как уже было отмечено, покрытие ФПУ образуется за счет разложения паров специальных реагентов, подаваемых в плазмотрон, и последующих химических реакций. При этом расход жидкого реагента в условиях односменной работы установки не превышает 0,5 л/год. Последнее обстоятельство делает применение ФПУ экономически целесообразным. В качестве газа-носителя используется аргон ввиду требований технологического процесса ФПУ.

Ввиду аморфности покрытия, наносимого ФПУ, оно изотропно, гомогенно, в нем отсутствуют разнородные зерна, затруднены диффузии по вакансиям. Такое покрытие обладает достоинствами пассивных пленок, повышаются устойчивость к водородному охрупчиванию и растрескиванию.

Проведены сравнительные адгезионные испытания покрытия, нанесенного ФПУ, и покрытия нитрида титана, нанесенного ионно-плазменным напылением в вакууме, склерометрическим методом. В качестве образца была выбрана инструментальная сталь Р6М5. В ходе исследования было выяснено, что критическая нагрузка, приведшая к образованию сколов и последующего отслоения, составила для нитрида титана – 35 Н, а для покрытия, нанесенного при помощи ФПУ – 65 Н. исследования коррозионной стойкости подтвердили эффективность этого покрытия – образцы выдержали длительное испытание на воздушную коррозию при температурах до 1000<sup>0</sup>С.

Проведены исследования на трение и износ в соответствии с ГОСТ 23.224-86 на образцах диаметром 38 мм, толщиной 12 мм (сталь Р6М5) с нанесенными на них покрытиями методом ФПУ и ионно-плазменным напылением нитрида титана. Контролем послужил образец стали ШХ15, термообработанный до твердости HRC 63. Условия контакта – трение качения с 20% проскальзыванием со смазкой. Испытание было проведено при частоте вращения 1000 мин<sup>-1</sup> при нагрузке 1650 Н. Для сравнения был также выбран образец из стали Р6М5, прошедший термообработку. Результаты исследования занесены в таблицу 1.

Таблица 1 – Сравнение характеристик трения и износа покрытий

Обработка поверхности	Без покрытия	Ионно-плазменное напыление TiN	ФПУ с нанесением алмазоподобного покрытия
Интенсивность изнашивания J, 10 <sup>-9</sup> кг/м <sup>3</sup>	6,40	4,13	3,45
Коэффициент трения f, 10 <sup>-3</sup>	14,50	8,43	7,03

Расчет коэффициента трения проведен по формуле:

$$f = 2M_{\text{тр}} / (D \cdot P) \quad (1)$$

где  $M_{\text{тр}}$  – момент трения, Н·м;  $D$  – диаметр образца, м;  $P$  – нагрузка, Н.

Из исследований следует, что интенсивность изнашивания и коэффициент трения при использовании покрытия ФПУ в 2 раза меньше по сравнению с контрольным образцом и на 20% меньше по сравнению с нитридом титана, нанесенного в вакууме.

На основе выше изложенного следует отметить, что при использовании установок ФПУ увеличивается срок службы деталей и узлов трения в электропневмогидроавтоматике, последнее обстоятельство играет немаловажную роль в устойчивой работе электрогидравлических сервоприводов. Также следует отметить, что применение ФПУ способно уменьшить риски, связанные с использованием едких, сильнодействующих и ядовитых веществ, улучшить условия труда рабочих и снизить производственную вредность персонала.