

Введение Тенденции развития промышленности в мире показывают, что увеличение ресурса металлических и материалосодержащих изделий позволяет получить экономико-экологические эффекты, что значительно снижает производственные затраты. Одним из эффективных способов увеличения срока службы изделий машиностроения является модификация свойств рабочих поверхностей, подвергающихся износу в процессе эксплуатации. Результаты исследований процессов износа и разрушения различных изделий при их эксплуатации показали, что надежность изделия и срок службы зависят, а нередко и полностью определяются состоянием поверхностного слоя [1, 2].

Дюралюминий - основной конструкционный материал в авиации и космонавтике, а также в других областях машиностроения с высокими требованиями к весовой отдаче. Широкое применение дюралюмины находят в вакуумной промышленности, в частности используются в спиральных насосах. Легкость, достаточная прочность, простота обработки, коррозионная стойкость - основные достоинства материала. Для сопоставления и анализа влияния воздействия обработки на поверхность образца выбраны три способа обработки: анодирование, эпиламинирование, ВЧ плазма пониженного давления.

Эпиламинирование - это процесс нанесения защитной многофункциональной пленки на трущиеся детали и узлы изделий. Речь идет не о смазывании или покраске. Речь идет о специальных фторсодержащих поверхностно-активных веществах (ПАВ), эпиламах, которые специальным образом наносятся на изделие, после чего на нем образуется тончайшая пленка. Обработка проводилась согласно ИСО ГОСТ Р 3001:2008. В качестве эпилама использовалась «фторсодержащая многофункциональная композиция ЭПИЛАМ СФК-05». Нанесение покрытия осуществлялось горячим методом в течении часа. При анодировании алюминиевого сплава деталь погружали в кислый электролит (водный раствор H_2SO_4) и соединяли с положительным полюсом источника тока. Процесс протекает при плотностях тока 10-50 мА/см² детали (требуемое напряжение источника до 50-100 В) [3,5]. Образование оксидного покрытия на поверхности сплава отмечено изменением цвета от привычного стального блеска до матового зеленого. Перспективным методом обработки материалов является воздействие высокочастотной (ВЧ) плазмы пониженного давления, в результате которого происходит ионная имплантация атомов плазмообразующего газа в объем металла глубиной до 100 нм [6].

Отличительной особенностью технологии является использование «холодной» плазмы: газовая температура в плазменном потоке может регулироваться в диапазоне от 40 до 600 °С. Принцип действия основан на формировании потока ионов, обладающих энергией 10 - 100 эВ, за счет образования слоя положительного заряда на границе между поверхностью тела и квазинейтральной плазмой. Энергии ионов достаточно для залечивания микропор и микротрещин, ликвидации трещиноватого и рельефного слоев,

формирования сжимающих остаточных напряжений в приповерхностном слое образца и др. Использование газа в качестве рабочего тела - позволяет обрабатывать внутренние полости изделий. Экспериментальная часть и результаты Во всех случаях во избежание побочных эффектов детали обезжиривались и обезвоживались. Исходные исследуемые характеристики образца: твердость 0,82 ГПа, модуль упругости 32 ГПа. После анодирования установлено, что твердость материала возросла до 0,98 ГПа, однако упругие свойства (модуль упругости, коэффициент упругого восстановления) упали в два раза. Это может быть связано со структурой анодного оксида, который получается пористым. Соответственно очень сильно возросла шероховатость, в 3,5 раза. Поэтому после анодирования следует применять дополнительные меры с целью закупорить поры. Обычно деталь длительно обрабатывают паром или кипятят в воде. Проведенные исследования по влиянию эпилама показали, что твердость увеличилась аналогичным образом до 0,98 ГПа. Модуль упругости в сравнении с предыдущим методом увеличился на 40% до 45 ГПа, коэффициент упругого восстановления, однако, как и при анодировании остался равным 12%. Шероховатость после данного вида обработки не изменилась. Для исследования влияния взаимодействия ВЧ плазмы пониженного давления с поверхностью материала проведен третий эксперимент в плазме инертного газа, аргона, 0,06 г/с и в среде смеси плазмохимического газа, метана, 0,004 г/с и аргона 0,06 г/с. Рабочее давление в камере 24-26 Па. Характеристики плазменного ВЧ генератора: потребляемая мощность 0,5-10 кВт, частота на выходе 13,56 МГц, ток анода 0,6-0,75 А, напряжение анода 7 кВ. С целью концентрации электрического поля вблизи поверхности на изделие подавался дополнительный отрицательный потенциал в размере -20 В. Время обработке в общей сложности составило ~40 минут: 20 минут в аргоне, 20 минут в смеси газов, инертного и плазмохимического. В результате воздействия емкостного ВЧ разряда на поверхность изделия удалось повысить твердость с $3,05 \pm 0,17$ ГПа до $3,30 \pm 0,29$ ГПа. При этом увеличился как модуль упругости, с $74,16 \pm 10,66$ ГПа до $124,07 \pm 17,95$ ГПа, так и коэффициент упругого восстановления, с $17,94 \pm 0,78\%$ до $29,89 \pm 5,61$. Шероховатость понизилась с 302,37 нм до 76,65 нм. Для определения физико-механических свойств применялось измерение микротвердости, шероховатости, модуля упругости и коэффициента упругого восстановления, исследовался рельеф и структура поверхности на субмикронном и нанометровом масштабе с помощью сканирующего нанотвердомера «НаноСкан- 3D». На базе «НаноСкан» реализован метод измерения твердости, основанный на измерении и анализе зависимости нагрузки при вдавливании индентора в поверхность материала от глубины внедрения индентора. Данный метод лежит в основе стандарта на измерение твердости ISO 14577. Для механических испытаний применяется индентор типа Берковича, который представляет из себя трехгранную алмазную пирамиду с

углом при вершине около 142° . Метод измерительного динамического индентирования заключается в следующем: индентор вдавливается в поверхность образца с постоянной скоростью, при достижении заданной нагрузки индентор отводится в обратном направлении. В процессе такого испытания производится запись значений нагрузки и соответствующего ей смещения индентора [7]. Особенность: пьезорезонансный кантилевер камертонной конструкции с высокой изгибной жесткостью консоли ($\sim 2 \cdot 10^4$ Н/м). Выводы Таким образом, выявлено, что физико-механические показатели деталей спирального насоса, обработанных в плазме емкостного ВЧ разряда, обладают более высокими технологическими и эксплуатационными характеристиками в сравнении с приведенными методами, анодирование и эпиламинирование. Происходит газонасыщение (карбидирование) поверхностных слоев металлов и сплавов на глубину до 1 мкм за время обработки до 40 минут, результатом чего является повышение прочностных свойств, долговечности и срока службы изделий. Преимуществом ионной имплантации перед другими методами введения примеси в твердые тела является универсальность процесса, позволяющего ввести любой элемент в любой материал в строго контролируемом количестве, а также задавать его распределение по глубине. Изучен и освоен комплексный подход к изучению покрытий с применением методов измерения рельефа, шероховатости, твердости, износостойкости, модуля упругости, коэффициента упругого восстановления и толщины модифицированного слоя в рамках одного измерительного прибора.