

Повышение качества, надежности и долговечности изделий является одной из основных задач промышленности России, особенно в условиях обострения международной конкуренции, вызванной глобализацией экономики. Одним из эффективных способов повышения качества изделий машиностроения является модификация свойств рабочих поверхностей, подвергающихся действию различных сред в процессе эксплуатации. Результаты экспериментальных 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]. Экспериментальные исследования показали, что изменения в поверхностном слое материалов приводят к изменению коррозионной стойкости. На рис. 1 и 2 представлены потенциодинамические кривые для сталей 20X13 и 40X13, полученные в результате проведенных коррозионных испытаний в 0,1 Н растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ . После обработки плазмой чистого аргона стационарный потенциал смещается вправо (рис. 1). Рис. 1 - Потенциодинамические кривые стали 20X13: а - сталь в исходном состоянии, б - обработка ВЧ плазмой с расходом аргона 0,04 г/с, в - расход 0,06 г/с, г - расход 0,08 г/с, д - расход 0,08 г/с в зоне факела. Наиболее значительное смещение отмечено в образце, обработанном при расходе плазмообразующего газа 0,08 г/с в зоне потемнения от факела (рис. 1, кривая «д»). Ток коррозии у всех обработанных образцов значительно меньше, чем у исходного во всей исследованной области, что говорит о повышении коррозионной стойкости. Коррозионная стойкость обработанных по всем режимам образцов выше, чем у исходного. При добавлении к плазмообразующему газу 30 %  $\text{N}_2$  или  $\text{O}_2$  коррозионная стойкость стали 40X13, в результате обработки ВЧППД, меняется по разному (рис. 2). При добавлении азота происходит увеличение коррозионной стойкости (кривые «в» и «г»). Добавление кислорода существенно увеличивает ток коррозии (кривые «б» и «д»). Рис. 2 - Потенциодинамические кривые стали 40X13: а - сталь до обработки; б - образец, обработанный по режиму  $\text{Ar}+\text{O}_2$ ,  $G_g=0,06$  г/с, в - по режиму  $\text{Ar}+\text{N}_2$ ,  $G_g=0,06$  г/с, г - по режиму  $\text{Ar}+\text{N}_2$ ,  $G_g=0,08$  г/с, д - по режиму  $\text{Ar}+\text{O}_2$ ,  $G_g=0,08$  г/с. С целью определения возможности использования данного вида обработки для газонасыщения и ионного азотирования проведены исследования в следующих режимах  $W_i = 1 - 2$  эВ,  $j_i = 20 - 25$  А/м<sup>2</sup>. Наиболее эффективно для реализации этих значений основных обобщенных параметров использовать ВЧИ разряд пониженного давления [3, 4]. Сравнительный анализ комплекса свойств сталей после "классического" печного и ВЧ плазменного азотирования показал, что процесс плазменного азотирования перспективен, так как при небольшом времени выдержки (уже при 15 мин.) происходит образование нитридных фаз. Происходит упрочнение поверхностного слоя; твердость поверхности образцов, азотированных в ВЧ индукционной (ВЧИ) плазме, выше, чем при печном азотировании. Глубина проникновения азота в

сталь при плазменном азотировании при  $t_{обр} = 30$  мин. больше, чем при печном азотировании в течение 28 часов. После ВЧИ плазменного азотирования на поверхности образцов образуется коррозионностойкая -фаза. Ее толщина в 10 раз больше, чем при печном азотировании. Коррозионная стойкость образцов, обработанных при температуре  $550^{\circ}\text{C}$  ( $t_{обр} = 30$  мин.), намного выше, чем у исходных. Детальные исследования взаимодействия титановых сплавов с реакционноспособными газами показали, что проведение азотирования при температуре  $300 - 350^{\circ}\text{C}$  позволяет повысить в 1,3 раза износостойкость и коррозионную стойкость по сравнению с азотированием при более высоких температурах и азотированием традиционными методами. Возможность проведения газонасыщения при пониженных температурах при наличии потока ионов обусловлена взаимодействием атомов углерода и азота с дислокациями. Установлено, что износостойкость азотированного титанового сплава выше, чем подвергнутых плазменному азотированию сталей. На поверхности титана образуется пленка нитрида титана. Испытания полученных покрытий на солевую коррозию и на термоудар показали, что они могут работать при повышенной влажности, в условиях морского тумана и выдерживают термоудар, по прочности относятся к нулевой группе. В отличие от ионно-плазменных покрытий, пленка нитрида титана на титановых сплавах, полученная в ВЧИ плазме пониженного давления, по плотности приближается к плотности объемного материала. По цвету пленка нитрида титана, получаемая с помощью ВЧИ плазменной обработки, более темного цвета, чем покрытие, напыляемое ионно-плазменным методом. Однако и то, и другое имеют характерный золотистый цвет. Такой оттенок связан с тем, что диффузионное покрытие имеет толщину порядка  $10 - 20$  мкм, а ионно-плазменные - не более  $5 - 7$  мкм. Графики зависимости микротвердости от основных обобщенных параметров при обработке в ВЧИ плазменной струе показаны на рис.3 . Оптимальное соотношение между плазмообразующим газом аргоном и реакционноспособными газами:  $70\% - \text{Ar}$  и  $30\% -$  реакционноспособный газ - установлено по результатам исследования влияния процентного содержания реакционноспособного газа на величину микротвердости. Графики распределения микротвердости в поверхностном слое образца для обработки с различным содержанием азота в аргоне проведены на рис. 4. Из него видно, что при содержании азота  $\sim 5 \cdot 10^{-3}\%$  изменение микротвердости происходит незначительно. Повышение концентрации азота выше  $30\%$  приводит к снижению  $H_{\mu}$ . Увеличение энергии ионов, согласно физической модели взаимодействия, приводит к интенсификации процессов распыления, что ведет к разрушению покрытия. Рис. 3 - Относительное изменение микротвердости поверхности металла в ВЧИ плазме аргона с  $30\%$  азота,  $t_{обр}=1800$  с: 1 - от мощности теплового потока  $W_{mn}$ , 2 - от плотности ионного тока  $j_i$ , 3 - от энергии ионов  $W_i$  Рис. 4 - Относительное изменение микротвердости поверхностного слоя

титанового сплава ВТ1 после обработки ВЧ плазмой аргона с добавкой азота в различных пропорциях; содержание азота: 1 – 0,05%, 2 – 0,1%, 3 – 5%, 4 – 30%, 5 – 40%. Исследование влияния скорости охлаждения образцов после плазменного воздействия на предел выносливости показало, что обдув холодным аргоном дополнительно повышает усталостную прочность. В результате исследований разработаны способы плазменного упрочнения, заключающиеся в том, что на изделие воздействуют неравновесной низкотемпературной аргоновой плазмой со следующими входными характеристиками. Скорость потока 100 – 500 м/с, давление 75 – 200 Па, концентрация электронов  $10^{18}$  –  $10^{19}$  1/м<sup>3</sup>, при этом  $W_i = 30$  – 50 эВ,  $j_i = 5$  – 15 А/м<sup>2</sup>. В режиме плазменного упрочнения стали 12Х18Н9Т наблюдается достаточно явная тенденция уменьшения шероховатости по сравнению с исходным состоянием. Существует также тенденция к смещению в положительную область стационарного потенциала от – 0,23 до – 0,085, что является признаком повышения коррозионной стойкости. Это можно объяснить образованием на поверхности тонкого защитного пленки слоя в результате плазменной обработки и повышением качества поверхности. Ширина линий и твердость поверхности подтверждает, что выбранный режим – упрочняющий.