

А. А. Хубатхузин, И. Ш. Абдуллин, А. А. Башкирцев

ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ С ПОМОЩЬЮ ВЧ-ПЛАЗМЫ ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: струя, ВЧ плазма, температура, пониженное давление.

Получено покрытие на поверхности твердого сплава с помощью высокочастотного разряда пониженного давления при ее взаимодействии с обрабатываемым изделием. В результате формирования покрытия на поверхности металлов получено повышение коррозионной стойкости и физико-механических свойств металлов.

Keywords: RF plasma, stream, temperature, low pressure.

A coating on the surface of solid alloy with high-frequency discharge of low pressure in its interaction with the workpiece. As a result of forming a coating on the surface of the metal produced increasing corrosion resistance and physical and mechanical properties of metals.

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 20Х13 и 40Х13, полученные в результате проведенных коррозионных испытаний в 0,1 Н растворе Na_2SO_3 .

После обработки плазмой чистого аргона стационарный потенциал смещается вправо (рис. 1).

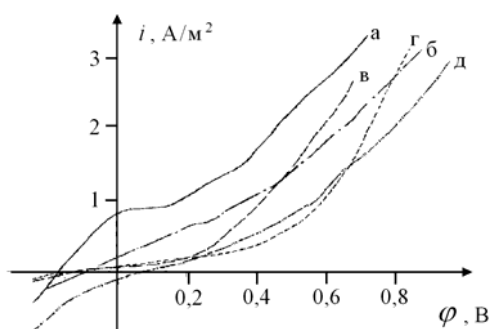


Рис. 1 - Потенциодинамические кривые стали 20Х13: а - сталь в исходном состоянии, б - обработка ВЧ плазмой с расходом аргона 0,04 г/с, в - расход 0,06 г/с, г - расход 0,08 г/с, д - расход 0,08 г/с в зоне факела

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 % N_2 или O_2 коррозионная стойкость стали 40Х13, 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»).

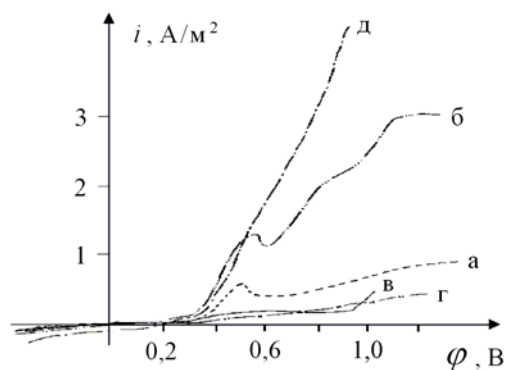


Рис. 2 - Потенциодинамические кривые стали 40Х13: а - сталь до обработки; б - образец, обработанный по режиму $\text{Ar}+\text{O}_2$, $G_1=0,06$ г/с, в - по режиму $\text{Ar}+\text{N}_2$, $G_1=0,06$ г/с, г - по режиму $\text{Ar}+\text{N}_2$, $G_1=0,08$ г/с, д - по режиму $\text{Ar}+\text{O}_2$, $G_1=0,08$ 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/м². 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 ВЧИ индукционной (ВЧИ) плазме, выше, чем при печном азотировании. Глубина проникновения азота в сталь при плазменном азотировании при $t_{обp} = 30$ 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°C ($t_{обp} = 30$ 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_d . Увеличение энергии ионов, согласно

физической модели взаимодействия, приводит к интенсификации процессов распыления, что ведет к разрушению покрытия.

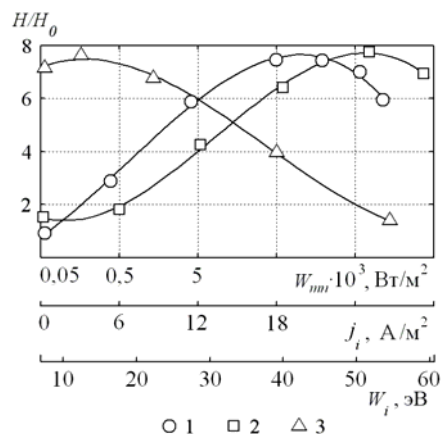


Рис. 3 - Относительное изменение микротвердости поверхности металла в ВЧИ плазме аргона с 30% азота, $t_{обp}=1800$ с: 1 – от мощности теплового потока W_{mn} , 2 – от плотности ионного тока j_i , 3 – от энергии ионов W_i

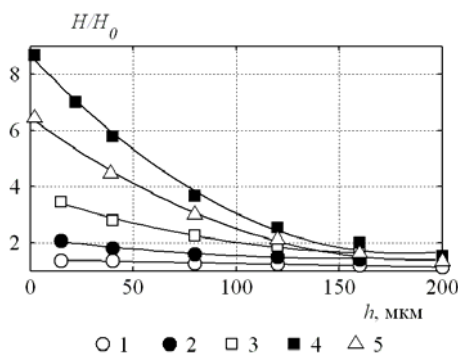


Рис. 4 - Относительное изменение микротвердости поверхностного слоя титанового сплава ВТ1 после обработки ВЧИ плазмой аргона с добавкой азота в различных пропорциях; содержание азота: 1 – 0,05%, 2 – 0,1%, 3 – 5%, 4 – 30%, 5 – 40%

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 $10^{18} - 10^{19}$ $1/\text{м}^3$, при этом $W_i = 30 - 50$ эВ, $j_i = 5 - 15$ А/м^2 .

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.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» по госконтракту 16.552.11.7060.

Литература

1. В.В. Савич, *Конструкции из композиционных материалов*, 4, 114 – 119 (2006).
8. M. Xu, N. Huang, Z. Xiao, Z. Lu, *Supramol. Sci.*, 5, 449 – 451 (1998).
2. И.Ш. Абдуллин, А.А. Хубатхузин, *Вестник Казанского технологического университета*, 11; 625 – 627 (2010).
3. И.Ш. Абдуллин, А.А. Хубатхузин, *Вестник Казанского технологического университета*, 11; 628 – 629 (2010).
4. Желтухин В.С., Шемахин А.Ю. Расчет газодинамики струй ВЧ-плазмы пониженного давления // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Физ.-матем. науки. - 2011. - Е. 153, кн.4. — С. 135-142.

© А. А. Хубатхузин - к. т. н., доц. каф. вакуумной техники электрофизических установок КНИТУ, al_kstu@mail.ru; И. Ш. Абдуллин – д.т.н., проф., зав. каф. плазмохимических и нанотехнологий высокомолекулярных материалов КНИТУ, abdullin_i@kstu.ru; А. А. Башкирцев – асп. той же кафедры.