

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОВЕРХНОСТНОГО АЗОТИРОВАНИЯ В ПЛАЗМЕ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

Введение. В данной статье описывается эффективный метод очистки поверхностей стальных образцов путем их вакуумной обработки тлеющим разрядом, исследовано влияние режимов обработки на качество упрочняемых поверхностей. Приведены результаты исследования процессов поверхностного азотирования в плазме импульсного тлеющего разряда.

Основная часть. В ходе выполнения работы были проведены исследования процесса поверхностного упрочнения образцов из стали Р6М5 в плазме тлеющего разряда в газовой атмосфере смеси азот-аргон-водород при различных давлениях рабочего газа. В процессе проведения запланированных исследований были получены вольт-амперные характеристики процесса в режиме ионной очистки упрочняемой поверхности и тлеющего разряда в режиме ионного азотирования поверхности при различных давлениях рабочего газа. Вольт-амперные характеристики в режиме ионной очистки показали, что рост величины тока (I_p) при давлении 14,7 Па происходит более интенсивно, чем при давлении 4 Па.

Для повышения стабильности горения тлеющего разряда был использован источник питания, питающий разряд импульсным напряжением с частотой следования импульсов 100 Гц. Как показали предварительные исследования, такой способ формирования разряда позволяет увеличить катодное падение в 2—3 раза по сравнению с обычным тлеющим разрядом (без увеличения выделяемой мощности) [1; 2].

Рост тока в процессе горения тлеющего разряда приводит к ускорению процесса диффузного насыщения обрабатываемой поверхности ионами и атомами азота.

Температура азотирования стали Р6М5 составляет 500—530 °С, напряжение — 400—1 100 В, разрежение — 133,3—1 333,2 Па. Рабочее давление лимитируется свойствами тлеющего разряда. При давлении ниже 133,3 Па энергии ионов недостаточно для нагрева обрабатываемой детали до рабочей температуры, при давлении выше 1 333,2 Па нарушается стабильность разряда, тлеющий разряд переходит в дуговой, что сопровождается появлением на поверхности оплавленных микрократеров. При давлении 1 066—1 333,2 Па наблюдается неравномерность нагрева упрочняемых деталей по высоте. При давлении 266,4 Па и температуре 520—530 °С достигается максимальная глубина диффузионного слоя. На глубину слоя влияет и увеличение напряжения. Выбор оптимального давления зависит от сложности конфигурации детали, так как с изменением давления изменяется протяженность катодной части разряда. С увеличением давления от 133,3 до 1 333,2 Па область катодной части разряда уменьшается с 10 до 1 мм. Это необходимо учитывать для обеспечения равномерности диффузионного слоя. Изменение плотности тока в больших пределах (0,5—20 мА / см²) не оказывает влияния на процесс азотирования.

Процесс ионного насыщения в плазме тлеющего разряда проходит в две стадии: 1 — очистка поверхности катодным распылением; 2 — собственно насыщение. Электрические и вакуумные параметры разряда при катодном распылении гарантируют активацию поверхности и разрушение оксидных пленок, а во второй стадии обеспечивают нагрев поверхности до температуры диффузии, необходимую активность газовой фазы, поддержание градиента концентрации азота в стали и регулирование по фазовому составу диффузионного слоя [2].

Катодное распыление проводится в течение 5—60 мин, в зависимости от загрязненности поверхности детали, при напряжении 1 100—1 400 В и давлении 13,3—26,6 Па. В процессе катодного распыления температура поверхности детали не превышает 250 °С. Рабочие параметры процесса при насыщении: $U = 400—1 100$ В, давление 133,3—1 333,2 мм рт. ст. Последовательность операций при проведении технологического процесса приведена ниже. Упрочняемую деталь, установленную в камере, подключают к отрицательному электроду (катоду), герметизируют камеру и откачивают воздух до давления 133,3 Па. После эвакуации воздуха камеру продувают рабочим газом в течение пяти минут при давлении 1 333,3 мм рт. ст., затем откачивают камеру до давления 133,3—1 333,2 Па, подают на электроды напряжение и возбуждают тлеющий разряд. При напряжении 1 100—1 400 В осуществляется катодное распыление. После обработки поверхности в течение 5—60 мин по режиму катодного распыления напряжение понижают до рабочего, а давление повышают до 1—10 мм рт. ст. При повышении давления уменьшается протяженность катодного свечения, которое равномерно распределяется по поверхности детали, повторяя ее контуры [3].

Были проведены исследования влияния дополнительного магнитного поля на горение тлеющего разряда. С этой целью в вакуумной камере была смонтирована катушка диаметром 200 мм и высотой 200 мм, намотанная 300 витками медной изолированной проволоки марки ПЭВ диаметром 1,5 мм. При пропуске тока по катушке 0,5—1,0 А внутри образуется дополнительное магнитное поле.

Заключение. Установлено, что рост тока тлеющего разряда в процессе азотирования от 0,5 до 2,5 А приводит к повышению температуры упрочняемой детали до 490—520 °С и ускорению процесса диффузионного насыщения упрочняемой поверхности, а использование дополнительного магнитного поля в рабочей камере позволяет зажигать тлеющий разряд при более низком давлении, что позволяет уменьшить количество остаточных окисных пленок на упрочняемой поверхности на 30 % и создать условия для лучшей диффузии азота в упрочняемую поверхность. На основании проведенных исследований микроструктуры и микротвердости установлено, что толщина азотирования слоя составляет 0,08—0,1 мм с поверхностной твердостью 1 318—1 200 HV. Установлено, что упрочненный слой включает Fe₄N (γ' -фаза).

Анализ микроструктур упрочненных образцов из стали Р6М5 после осуществления процесса азотирования показал наличие упрочненного азотированного слоя, переходной зоны, ниже которых находится основа образца.

Азотированный слой состоит из нитридного (Fe₄N — γ' -фаза) и диффузионного слоев. Его толщина составляет 0,08—0,1 мм. Переходной слой имеет толщину 0,06—0,09 мм.

Значения микротвердости на упрочняемой поверхности образцов достигают HV₁₀₀ 1 320—1 200.

Список цитируемых источников

1. Велихов, Е. П. Физические явления в газоразрядной плазме / Е. П. Велихов, А. С. Ковалев, А. С. Рахимов. — М. : Атомиздат, 1987. — 312 с.
2. Бронштейн, И. М. Вторичная электронная эмиссия / И. М. Бронштейн, Б. С. Фрайман. — М. : Наука, 1969. — 407 с.
3. Ионная химико-термическая обработка сплавов / Б. Н. Арзамасов [и др.]. — М. : Изд-во МВТУ им. Баумана, 1999. — 400 с.

УДК 621.3:621.373.826

А. В. Алифанов, Д. А. Лосяков

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОВЕРХНОСТНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ В ПЛАЗМЕ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

Введение. В данной статье были проведены исследования процесса поверхностного упрочнения образцов из стали Р6М5 методом ионной цементации в плазме тлеющего разряда в газовой атмосфере смеси аргон-водород-метан или пропан-бутан при различных давлениях рабочего газа.

Ионно-плазменную цементацию рекомендуется осуществлять при упрочнении стальных изделий с содержанием углерода не более 0,25 %. Проводить данный процесс необходимо при температуре 700—900 °С, что позволяет получить упрочненный слой глубиной 0,1—0,2 мм.

Основная часть. Ионная цементация — процесс науглероживания стальных изделий в низкотемпературной углеводородной плазме тлеющего разряда. Под действием электрического тлеющего разряда происходит активация газовой среды и обрабатываемой поверхности, создающая условия для ускорения внешнего и внутреннего массопереноса углерода и протекания диффузионных процессов науглероживания. Для осуществления процесса ионного науглероживания упрочняемые детали помещаются в вакуумную камеру, в которую подается углеводородсодержащая смесь газов: аргон-водород-метан или пропан-бутан. Между катодом (упрочняемые детали) и анодом (стенки вакуумной камеры) специальным источником питания, имеющем на выходе постоянное напряжение, создается пульсирующее регулируемое напряжение 400—1 400 В [1].

Под действием электрического поля в газоразрядном промежутке лавинообразно развивается процесс ионизации — образование электронов и положительных ионов. Важная особенность аномального тлеющего разряда — существование вблизи катода большого перепада электрического потенциала. Под влиянием падения потенциала на катоде ионы приобретают высокую кинетическую энергию и бомбардируют обрабатываемую поверхность, выбивая из нее первичные электроны. Выбитые электроны, разогнанные до высоких скоростей, ионизируют атомы газовой среды. Ионы, устремляясь к поверхности детали, вместе со сталкивающимися вторичными электронами (от обрабатываемой поверхности) вызывают на обрабатываемой поверхности процессы диссоциации, ионизации, возбуждения, рекомбинации. Считают, что до 80 % энергии разряда расходуется на возбуждение частиц плазмы. Бомбардировка поверхности детали положительными ионами и возбужденными частицами вызывает передачу кинетической энергии ионов и, как следствие, высокоскоростной разогрев (а при жестких режимах — распыление) поверхности упрочняемой детали.

Энергия удара и количество ударов зависят от приложенного напряжения, давления газа в камере, массы ионов. Изменяя (варьируя) эти факторы, можно достичь быстрого разогрева цементуемой поверх-