

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-

ности до 1 000—1 100 °С без использования внешнего дополнительного источника энергии. Электрический разряд качественно и количественно изменяет процесс массопереноса углерода к упрочняемой поверхности и создает условия для интенсификации диффузионного насыщения упрочняемой поверхности углеродом.

Для повышения стабильности горения тлеющего разряда (особенно при горении в аномальной области) 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 1,5—2 раза (по сравнению с обычным тлеющим разрядом на постоянном токе) без увеличения выделяемой мощности.

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

Температура ионной цементации стали Р6М5 выше, чем при ионном азотировании, и составляет 700—900 °С, напряжение — 600—1 400 В, разрежение — 266,6—1 333,2 Па. Рабочее давление определяется свойствами тлеющего разряда. При давлении выше 1 333,2 Па нарушается стабильность разряда, тлеющий разряд переходит в дуговой, что сопровождается появлением на поверхности оплавленных микрократеров. При давлении 1 064—1 333,2 Па наблюдается неравномерность нагрева упрочняемых деталей по высоте. В результате проведенных исследований установлено, что при давлении 333,3—800 Па и температуре 850 °С наблюдается оптимальная скорость диффузии углерода. На глубину упрочненного слоя влияет время ионной цементации и увеличение напряжения [2].

Технологический процесс ионного насыщения углеродом в плазме тлеющего разряда проходит в две стадии: 1 — очистка поверхности катодным распылением (как и при ионном азотировании); 2 — собственно насыщение углеродом. 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 углерода в стали и регулирование процесса по фазовому составу диффузионного слоя [3].

Катодное распыление проводится в течение 30—60 мин, в зависимости от загрязненности поверхности детали, при напряжении 1 100—1 400 В и давлении 4—13,3 Па. Рабочие параметры процесса при насыщении: $U = 400$ —1 100 В, давление — 333,3—800 Па. 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 откачивания воздуха камеру продувают рабочим газом в течение пяти минут при давлении 1 333,2 Па, затем откачивают камеру до давления 26,7—53,3 Па, подают на электроды напряжение и возбуждают тлеющий разряд. При напряжении 1 100—1 400 В осуществляется катодное распыление. После обработки поверхности в течение 30—60 мин по режиму катодного распыления напряжение понижают до рабочего, а давление повышают до 333,3—800 Па. При повышении давления уменьшается протяженность катодного свечения, которое равномерно распределяется по поверхности детали, повторяя ее контуры. На основании проведенных исследований микроструктуры и микротвердости установлено, что толщина упрочненного слоя составляет 0,1—0,2 мм с поверхностной твердостью 1 500—1 200 HV [4].

Заключение. Анализ микроструктур упрочненных образцов из стали Р6М5 после осуществления процесса ионной цементации показал наличие на поверхности образцов упрочненного науглероженного слоя.

Углерод растворяется в железе по способу внедрения и поэтому может диффундировать на значительную глубину. Его глубина составляет 0,1—0,2 мм.

Значения микротвердости на упрочненной поверхности образцов достигают HV_{100} 1 500—1 320.

Таким образом, проведенные исследования показали, что процесс ионной цементации позволяет получить большие значения микротвердости, чем в случае азотирования. Однако процесс ионной цементации протекает при более высокой температуре, в результате чего на закаленном образце может произойти разупрочнение поверхностного слоя, что нежелательно при обработке реальных машиностроительных деталей или инструмента.

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. Бабад-Захрятин, А. А. Радиационно-стимулируемая химико-термическая обработка / А. А. Бабад-Захрятин, Г. Д. Кузнецов. — М. : Энергоиздат, 1982. — 182 с.
3. Бодяко, М. Н. Исследование и разработка технологического процесса скоростной нитроцементации деталей машин / М. Н. Бодяко, А. А. Шипко, П. С. Гурченко // МиТОМ. — 1986. — № 8. — С. 11—15.
4. Голубев, В. С. Тлеющий разряд повышенного давления / В. С. Голубев, С. В. Пашкин. — М. : Наука, 1990. — 380 с.