

П. В. Матвишин, к. т. н.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ИОННОГО АЗОТИРОВАНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ СТАЛИ X12 В КОРРОЗИОННО-АБРАЗИВНОЙ СРЕДЕ

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния технологических параметров ионного азотирования стали X12 на твердость и толщину азотированного слоя и его износостойкость в коррозионно-абразивной среде. Получены уравнения регрессии, описывающие влияние технологических параметров процесса азотирования на свойства поверхностного слоя.

Ключевые слова: износ, азотирование, экструдер, сталь.

Введение. Азотирование в тлеющем разряде является эффективной технологией модификации поверхности металлов, которая позволяет изменять свойства поверхностных слоев (твердость, толщину, фазовый состав, градиент изменения свойств по толщине) в широких пределах, что имеет большое значение для повышения эксплуатационных характеристик конструктивных элементов [1, 2]. Перспективными являются технология и оборудование для химико-термической обработки деталей машин и инструментов в тлеющем разряде в безводородных средах (смеси азота с аргоном) [3, 4]. Особенность данной технологии состоит в исключении водородного охрупчивания металлов в процессе диффузионного насыщения и повышение пластических характеристик поверхностных слоев за счет разного соотношения фаз [5]. Свойства азотированного слоя характеризуются 4-мя технологическими параметрами: температурой диффузионного насыщения, давлением в вакуумной камере, составом насыщаемой среды и временем азотирования. Теоретические и экспериментальные исследования [6] показали, что все вышеуказанные технологические параметры процесса азотирования влияют на свойства азотированного слоя. Для обеспечения максимальной износостойкости пар трения в абразивной среде необходимо чтобы поверхностные слои имели высокую твердость и максимальную толщину. Кроме того, как показывают исследования [7], на износостойкость сталей в абразивной среде имеют большое влияние метастабильные фазы в структуре материала.

Постановка задачи. Исследование влияния технологических параметров ионного азотирования стали X12 на твердость, толщину и износостойкость азотированного слоя в коррозионно-абразивной среде.

Основной материал. Ионное азотирование образцов из стали X12 проводили в безводородных средах на специальных установках [4] конструкции Хмельницкого национального университета. Теоретическими и экспериментальными исследованиями процесса ионного азотирования металлов [3, 5, 6] показано, что для большинства конструктивных сталей высокой твердости достигают при температурах 560 – 580 °С, а максимальную толщину азотированного слоя получают при длительности процесса диффузионного насыщения 6 – 8 часов, поэтому с целью сокращения количества экспериментов при исследовании свойств азотированного слоя и процесса изнашивания азотированных образцов был использован двухфакторный рототабельный план второго порядка [8]. В процессе исследований изменялись следующие факторы: состав насыщаемой среды в пределах 29 – 71%, давление в вакуумной камере в пределах 55 – 225 Па. Продолжительность азотирования и температуру фиксировали, они составили 240 мин. и 570 °С соответственно.

Исследование износостойкости образцов проводили в среде расплава стеклонаполненного полимера ПС68-30 на специальной машине трения [9], которая моделировала условия

работы экструдеров.

Математическую модель зависимости исследуемых величин от технологических параметров процесса азотирования записывают уравнением регрессии – полином второго порядка [8]:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2, \quad (1)$$

где $b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{11}, b_{22}$ – коэффициенты регрессии; x_1, x_2 – переменные факторы, учитывающие влияние давления в вакуумной камере и содержание аргона в насыщаемой среде $x_1 = \frac{P-140}{60}$, $x_2 = \frac{Ar\% - 50}{15}$.

В табл. 1 приведены результаты экспериментальных исследований твердости и толщины азотированного слоя стали X12 в зависимости от режимов ионного азотирования в безводородных средах. На основе результатов этих исследований согласно двухфакторному рототабельному плану проведения экспериментов получены эмпирические математические зависимости твердости поверхности (H_{100}) и толщины азотированного слоя (h) от содержания аргона в насыщаемой среде и давления в вакуумной камере исследуемых сталей, которые описывают регрессивные уравнения (2 и 3).

$$h(\text{мкм}) = 130.4 + 49.6 x_1 - 22.5 x_2 - 7.0 x_1 x_2 - 10.4 (x_1)^2 - 5.6 (x_2)^2, \quad (2)$$

$$H_{100}(\text{МПа}) = 9050 + 284.8 x_1 - 301.2 x_2 - 150 x_1 x_2 - 56.5 (x_1)^2 - 320.2 (x_2)^2. \quad (3)$$

Таблица 1

Зависимость микротвёрдости и толщины азотированного слоя от режимов ионного азотирования разных сталей

Номер режима	Технологические параметры азотирования		Сталь X12	
	P , Па	Ar, %	Микротвёрдость H_{100} , МПа	Толщина азотированного слоя, мкм
1	200	65	9700	134
2	200	35	9500	192
3	80	65	7800	50
4	80	35	7000	80
5	140	71	8600	88
6	140	29	8450	150
7	225	50	8350	178
8	55	50	7250	40
9	140	50	7800	130
10	140	50	7780	128
11	140	50	7900	133
12	140	50	7850	131
13	140	50	7910	127

На основе уравнений регрессии построены графики зависимости твердости азотированного слоя (рис. 1) от технологических параметров процесса азотирования в Научные труды ВНТУ, 2015, № 3

безводородных средах стали X12.

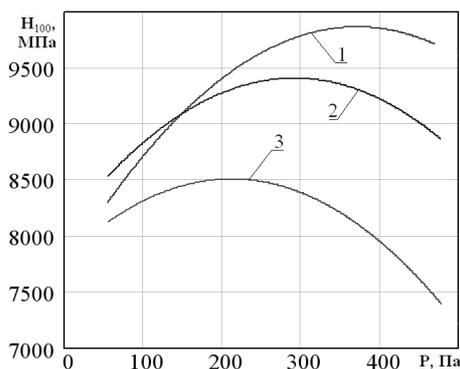


Рис. 1. Зависимость твёрдости поверхности азотированного слоя от технологических параметров процесса ионного азотирования в безводородных средах стали X12
1 – Ar 35%, 2 Ar 50%, – 3 – Ar 65%

Из рис. 1 видно, что технологические параметры ионного азотирования имеют большое влияние на твердость поверхности азотированного слоя. Зависимости твердости поверхности от давления в вакуумной камере и объемного содержания аргона в насыщаемой среде (смесь азота с аргоном) имеют экстремальный характер с явно выраженными максимумами. Для разных сталей являются оптимальными значения этих параметров, при которых достигается максимальная микротвёрдость. Для стали X12 максимальная микротвёрдость достигается при давлении 360 – 370 Па и содержания аргона 38 – 42%.

Режимы ионного азотирования имеют большое влияние на характер распределения микротвёрдости по толщине азотированного слоя, что наглядно видно из рис. 2. Режимы азотирования 1 для стали X12 обеспечивают высокую твердость поверхности благодаря образованию нитридного слоя и большой градиент изменения микротвёрдости по глубине азотированного слоя. При азотировании по режиму 4 стали X12 микротвёрдость их поверхности значительно меньше из-за отсутствия нитридной зоны, при этом градиент изменения твердости по толщине азотированного слоя наименьший.

Таким образом, изменяя режим азотирования, мы можем менять не только твердость поверхности, но и распределение твердости и ее градиент по толщине азотированного слоя.

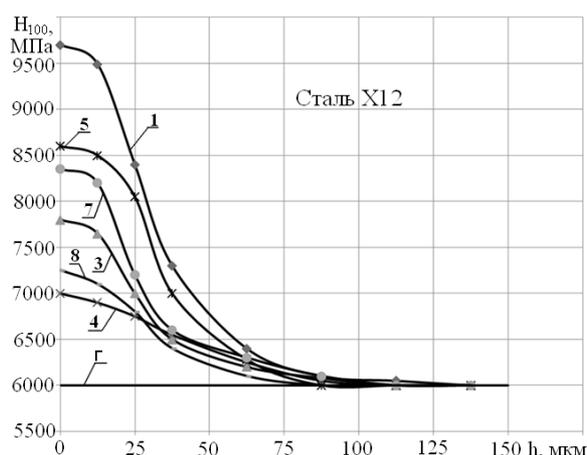


Рис. 2. Распределение твёрдости по толщине азотированного слоя стали X12 после ионного азотирования по режимам 1 – 8 (табл. 1). Г – сталь X12 после закалки от температуры 1150°C

Используя уравнения (1) и данные табл. 2, можно построить графики зависимости толщины азотированного слоя для исследуемых сталей в зависимости от состава насыщаемой среды и давления в вакуумной камере, на основе которых найдены оптимальные режимы ионного азотирования, обеспечивающие максимальную толщину упрочненного слоя. Оптимальный режим азотирования достигался для стали X12 при

давлении 310 – 320 Па и 12 – 17% аргона. Наибольшая толщина азотированного слоя при оптимальном режиме для стали X12 имеет величину 225 мкм.

На основе результатов исследований согласно двухфакторному рототабельному плану получена эмпирическая математическая зависимость (4) износа стали X12 от технологических параметров ионного азотирования:

$$U_{(мкм)} = 87,7 - 33,5 x_1 - 6,6 x_2 + 2,0 X_1 X_2 - 0,5 (X_1)^2 + 22,2 (X_2)^2. \quad (4)$$

На основе уравнения (4) построен график (рис. 3) зависимости износа от технологических параметров процесса ионного азотирования стали.

Из графиков (рис. 3) видно, что минимальный износ для стали X12 достигается при давлении в вакуумной камере 200 Па и объемном содержании аргона 52 – 55%.

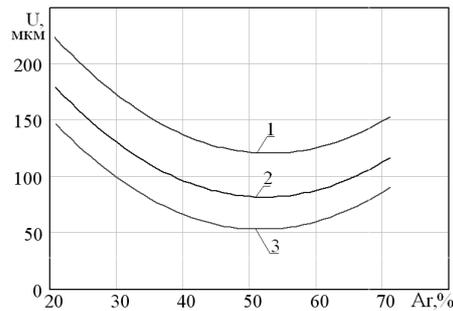


Рис. 3. Зависимость износа от технологических параметров процесса ионного азотирования в безводородных средах стали X12 при давлениях: 1 – 80 Па; 2 – 150 Па; 3 – 200 Па

Оптимальным режимом ионного азотирования по критерию максимальной износостойкости для исследуемой стали X12 являются: температура $T = 570^{\circ}\text{C}$, время диффузионного насыщения $\tau \approx 240$ мин., давление $P = 200$ Па, содержание аргона в насыщаемой смеси $\text{Ar}\% = 53\%$.

Выводы. Таким образом, исследования стали X12 после азотирования показали, что ионное азотирование в безводородных средах позволяет изменять свойства поверхностного слоя в широких пределах, которые можно оптимизировать по эксплуатационным свойствам, нас интересующих, а также оптимизировать технологические параметры процесса упрочнения по критерию максимальной износостойкости.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ионная химико-термическая обработка сплавов / [Арзамасов Б. Н., Братухин А. Г., Елисеев Ю. С., Панайоти Т. А.]. – М. : Изд-во МГТУ им Н. Э. Баумана, 1999. – 400 с.
2. Лахтин Ю. М. Азотирование стали / Ю. М. Лахтин, Я. Д. Коган. – М. : Машиностроение, 1976. – 256 с.
3. Каплун В. Г. Прогрессивные технологии упрочнения конструктивных элементов / В. Г. Каплун, П. В. Каплун // Современные технологии в машиностроении. – Харьков НТУ «ХПИ», 2007. – С. 388 – 403.
4. Каплун В. Г. Енерго і ресурсозберігальна екологічно чиста технологія і обладнання для зміцнення деталей машин / В. Г. Каплун, І. М. Пастух // Машиностроение. – 2002. – № 2. – С. 49 – 51.
5. Каплун В. Г. Особенности формирования диффузионных слоев при ионном азотировании в безводородных средах // Физическая инженерия поверхности. – Харьков, 2003. – Т. 1. – № 2. – С. 141 – 146.
6. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / И. М. Пастух. – Харьков : НЕЦ ХФТИ, 2006. – 364 с
7. Попов В. С. Долговечность оборудования огнеупорного производства / В. С. Попов, Н. Н. Бриков, Н. С. Дмитриченко, П. Г. Приступа. – Изд-во «Металлургия», 1978. – 232 с.
8. Леонтьев Н. Л. Техника статистических вычислений / Н. Л. Леонтьев. – Лесная промышленность, 1996. – 236 с.
9. Матвійшин П. В. Дослідження зносостійкості пар тертя в середовищі скло наповнених пластмас / П. В. Матвійшин, В. Г. Каплун // Проблеми трибології (Promblems of Tribology). – 2009. – № 4. – С. 80 – 85.

Матвійшин Пётр Владимирович – к. т. н., доцент кафедры инженерной подготовки.
ОП НУБиП Украины "Бережанский агротехнический институт".