

К. Н. Рамазанов, Р. К. Вафин

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ИОННОГО АЗОТИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ X12 В СКРЕЩЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Исследованы вольт-амперные характеристики тлеющего разряда в магнитном поле и без него. Проанализированы экспериментальные результаты изменения микротвердости поверхности и структурно-фазовых превращений образцов из инструментальной стали X12 при ионном азотировании в скрещенных электрических и магнитных полях. *Ионное азотирование; скрещенные электрические и магнитные поля; фазовый состав и микроструктура азотированного слоя; тлеющий разряд*

ВВЕДЕНИЕ

Азотирование является эффективным, но малопроизводительным процессом поверхностного упрочнения сталей и сплавов. Большая длительность технологического цикла определяется относительно низкой диффузионной подвижностью атомов азота в области температур 450–550 °С. В связи с этим, несомненно, актуальными являются исследования, направленные на интенсификацию процесса ионного азотирования. Использование скрещенных электрических и магнитных полей позволяет значительно повысить энергию частиц, воздействующих на обрабатываемую поверхность. В результате процесс диффузионного насыщения поверхностных слоев стали ионами и атомами азота значительно ускоряется [1].

Применение магнитного поля при ионном азотировании в тлеющем разряде позволяет также увеличить температуру и скорость нагрева поверхности, что объясняется более высокой плотностью ионного тока, вследствие увеличения генерации заряженных частиц электронами, которые удерживаются магнитным полем [2].

О характере изменения энергии заряженных частиц можно рассуждать, исследуя вольт-амперные характеристики (ВАХ) тлеющего разряда с магнитным полем и без него. ВАХ является одной из основных характеристик тлеющего разряда, существенное влияние на нее оказывают рабочее давление (P) и индукция магнитного поля (B) [3–6].

Таким образом, целью данной работы является:

- исследование ВАХ тлеющего разряда при различных давлениях с магнитным полем и без него;
- изучение физико-механических свойств образцов из инструментальной стали X12 после

ионного азотирования в скрещенных электрических и магнитных полях;

- разработка нового способа ионного азотирования в скрещенных электрических и магнитных полях.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальная установка для исследования характеристик тлеющего разряда в скрещенных $E \times B$ полях была создана на базе серийного оборудования ЭЛУ-5. Используемый импульсный источник питания АрЕI-M-5PDC позволяет снизить тепловые нагрузки на электроды и обеспечивает эффективное дугогашение в режиме аномального тлеющего разряда. Образцы из инструментальной стали X12 предварительно термообработаны (температура отпуска 600 °С).

Вакуумная камера оснащена стандартным магнетроном (450×50×100), с индукцией магнитного поля $B = 0,03$ Тл, который закрепляется в штатные отверстия вакуумной камеры. В качестве рабочего газа использовались: аргон и смесь, состоящая из азота, аргона и ацетилена (N_2 75% + Ar 20% + C_2H_2 5%). Давление рабочего газа варьировалось в диапазоне 5...200 Па и контролировалось с помощью вакуумметра ВИТ-3. Рабочая температура (490–510 °С) достигалась за 2...3 минуты. Измерения температуры подложек производились с помощью оптического пирометра Термикс.

Параметры разряда фиксировались с показаний дисплея импульсного источника питания.

Замеры микротвердости поверхности выполнялись на микротвердомере Micromet-5101 при нагрузке 0,49 Н. Рентгеноструктурные исследования проводились с помощью дифрактометра ДРОН-4-07. Исследование микроструктуры упрочненного слоя – с помощью растрового электронного микроскопа GSM 6390 (JEOL).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате визуального наблюдения за разрядом установлено, что при увеличении давления рабочего газа до 150 Па плазма локализуется у электродов, при этом значительно возрастает интенсивность ее свечения, за счет увеличения числа актов ионизации (рис. 1).

Свечение положительного столба и области отрицательного свечения разряда фиолетовое, катодный слой оранжевый, анодный слой розовый (рис. 1).



Рис. 1. Тлеющий разряд в магнитном поле при давлении 150 Па

После напуска газа в течение первых 3–5 минут положительный столб распадается на отдельные слои, разделенные темными промежутками, так называемые страты. При давлении рабочего газа 150 Па, яркое свечение плазмы в форме тора практически «ложится» на катод (рис. 1).

На рис. 2 представлены ВАХ тлеющего разряда с магнитным полем и без него.

Анализ ВАХ в режиме ионной очистки (рис. 2, а) показал, что рост тока разряда в присутствии магнитного поля происходит значительно интенсивнее по сравнению с ВАХ без него, это в свою очередь приводит к эффективному распылению оксидной пленки вследствие увеличения концентрации и кинетической энергии заряженных частиц. Сравнение ВАХ при давлении 200 Па (рис. 2, б) показало, что наличие магнитного поля позволило увеличить ток разряда с 1,3 А до 2,3 А при напряжении 300 В, что приводит к значительному ускорению процесса диффузионного насыщения обрабатываемой поверхности ионами и атомами азота.

Анализ результатов замеров микротвердости поверхности показал, что ионное азотирование в магнитном поле привело к значительному уве-

личению микротвердости в 6–6,5 раз (с 3300 до 19700...21500 МПа), что обусловлено формированием в приповерхностном слое нитридных фаз [3, 4].

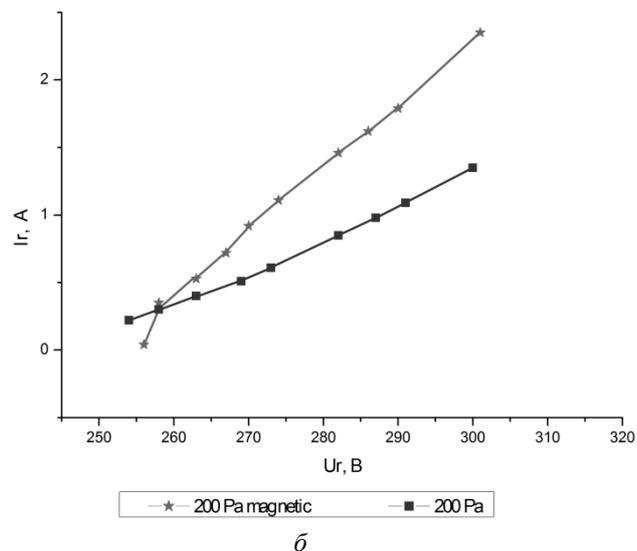
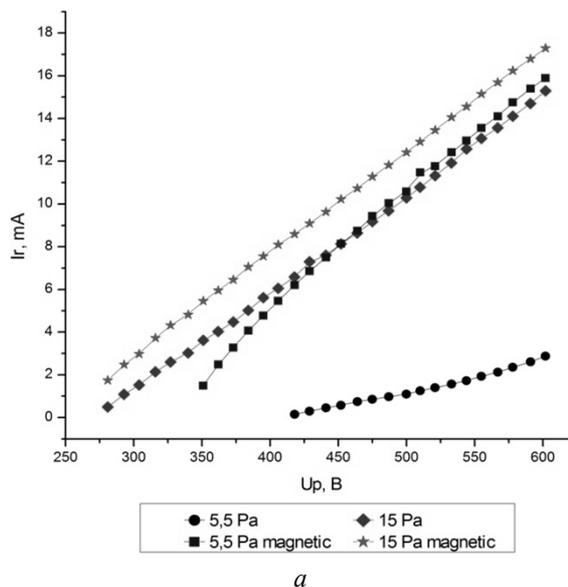


Рис. 2. ВАХ тлеющего разряда с магнитным полем (magnetic) и без него (а – режим ионной очистки, б – режим насыщения)

Анализ микроструктуры образцов из стали X12 после обработки (рис. 3) показал наличие двух зон, между которыми отсутствует четкая граница:

- первая зона представляет собой сплошной слой нитридов железа и легирующих элементов, который на фотографиях микроструктуры выглядит почти бесструктурным;
- вторая зона, диффузионная область, представляет собой азотистый феррит с карбидными и мелкодисперсными нитридными включениями.

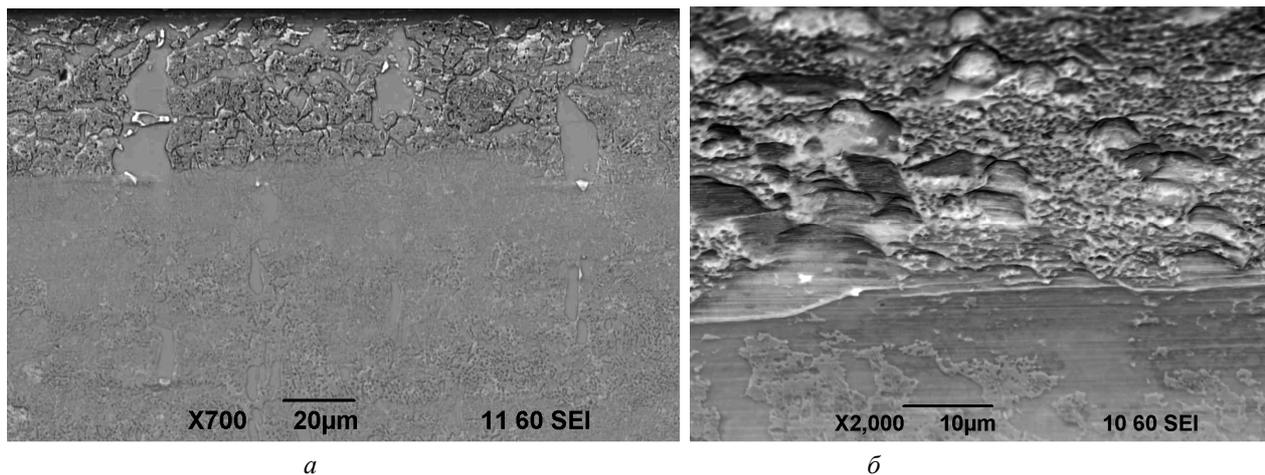


Рис. 3. Микроструктура образца из стали X12 после ионного азотирования в магнитном поле (а – х 700; б – х 2000)

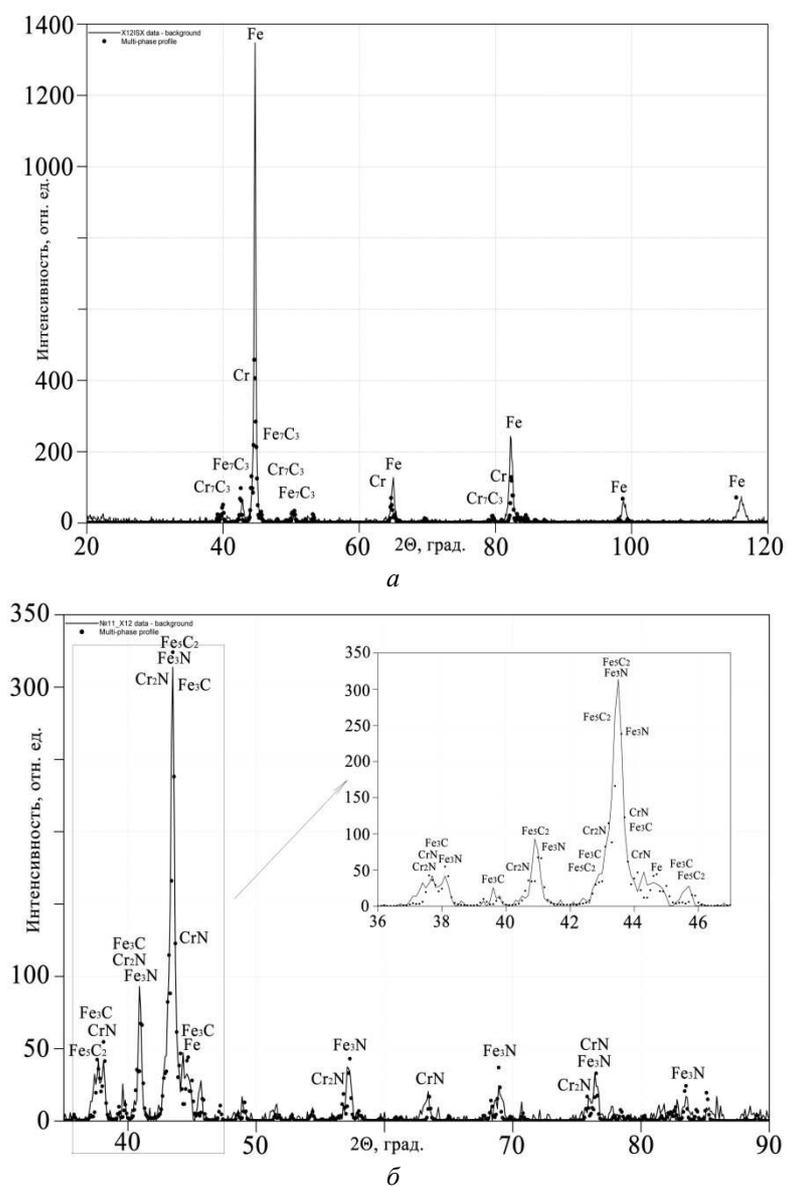


Рис. 4. Дифрактограммы образца из стали X12 (а – в исходном состоянии, б – после ионного азотирования в магнитном поле)

Известно [3], что выделяющиеся карбиды (Fe_3C , Fe_5C_2) устойчивы против значительного развития коагуляции, что обуславливает сохранение требуемой твердости и предельно возможной теплостойкости. Основной карбидной фазой является цементит – Fe_3C .

Для определения фазового состава поверхности проведены рентгеноструктурные исследования. На поверхности образцов после ионного азотирования обнаружены рефлексы ϵ -фазы Fe_3N , нитридов легирующих элементов (CrN , Cr_2N , Mo_5N_6 , WN , WN_2) и карбидов железа (Fe_5C_2 , Fe_3C) (рис. 4). Известно [4], что нитриды железа обладают большей теплоемкостью по сравнению с железом, при этом создаются благоприятные условия для предотвращения температурных всплесков на поверхности инструмента. Высокая твердость поверхности инструмента, не изменяющаяся при нагреве до 500°C , определяется наличием нитридов хрома (CrN , Cr_2N), а износостойкость и низкая склонность к задирам – нитридами вольфрама и молибдена (WN , WN_2 , Mo_5N_6) [1].

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что скрещенные электрические и магнитные поля позволяют значительно повысить энергию частиц, воздействующих на обрабатываемую поверхность.

2. Установлено, что в результате ионного азотирования в магнитном поле на поверхности образцов произошло значительное увеличение микротвердости в 6–6,5 раз.

3. Установлено, что микроструктура стали X12 после обработки состоит из нитридного слоя и диффузионной зоны, между которыми отсутствует четкая граница.

4. Установлено, что на поверхности образцов из стали X12 после обработки формируется сплошной слой нитридов, состоящий из нитридов железа и легирующих элементов (Fe_3N , CrN , Cr_2N).

5. Разработан способ азотирования в тлеющем разряде с наложением магнитного поля, ко-

торый позволяет проводить модифицирование поверхности инструментальных сталей и обеспечить высокую кинетическую эффективность процесса диффузионного насыщения [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будилов В. В., Рамазанов К. Н., Вафин Р. К. Азотирование быстрорежущей стали Р6М5 в тлеющем разряде с наложением магнитного поля // Упрочняющие технологии и покрытия. 2010. № 5. С. 39–42.
2. Плетнев С. В. Магнитное поле, свойства, применение. СПб.: Гуманистика, 2004. 624 с.
3. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде. Харьков: Изд-во ННЦ ХФТИ. 2006. 364 с.
4. Теория и технология азотирования / Ю. М. Лахтин [и др.]. М.: Металлургия, 1991. 320 с.
5. Чаттерджи-Фишер Р. Азотирование и карбонитрирование. М.: Металлургия, 1990. 280 с.
6. Исследование характеристик плазмы несбалансированной магнетронной распылительной системы / А. А. Соловьев [и др.]. // Физика плазмы. 2009. Т. 35, № 5.
7. Полож. реш. о выд. пат. № 2009125030, МПК 7, C23C8/36, C23C8/80. Способ азотирования в плазме тлеющего разряда / В. В. Будилов [и др.]. 08.06.2010.

ОБ АВТОРАХ

Рамазанов Камиль Нуруллаевич, доц. каф. технологии машиностроения. Дипл. инженер-технолог машиностроительн. производств (УГАТУ, 2004). Канд. техн. наук (ИФПМ СО РАН, 2009) Иссл. в обл. вакуумных ионно-плазменных методов модифицирования поверхности.

Вафин Руслан Каримович, асп. той же каф. Дипл. инженер-технолог машиностроительн. производств (УГАТУ, 2010). Иссл. в обл. вакуумных ионно-плазменных методов модифицирования поверхности.