

**LUBLIN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
BELARUSSIAN STATE UNIVERSITY^{...}
VYTAUTAS MAGNUS UNIVERSITY^{...}
BELARUSSIAN NATIONAL TECHNICAL^{...}
UNIVERSITY**

III INTERNATIONAL SYMPOSIUM

**NEW ELECTRICAL AND ELECTRONIC
TECHNOLOGIES AND THEIR
INDUSTRIAL IMPLEMENTATION**



**50TH ANNIVERSARY
OF THE LUBLIN UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY**

ZAKOPANE, POLAND, MAY, 13 - 16, 2003

Формирование нитридных фаз в поверхностном слое железа в результате воздействия компрессионных потоков плазмы азота

Углов В.В.¹⁾, Анищик В.М.¹⁾, Асташинский В.В.¹⁾, Свешников Ю.В.¹⁾,
Аскерко В.В.²⁾, Кузьмицкий А.М.²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

²⁾Институт молекулярной и атомной физики НАН Беларуси

В работе исследованы особенности воздействия компрессионного плазменного потока азота на образцы из армко-железа. Поток сформирован с помощью магнитоплазменного компрессора, в котором ускорение плазмы сопровождается ее сжатием за счет взаимодействия продольной составляющей тока с собственным азимутальным магнитным полем. Проведены исследования структуры, фазового состава методами рентгеноструктурного анализа, оптической микроскопии, оже-электронной спектроскопии.

1. Введение.

В настоящее время существует целый ряд различных по своей физической основе методов воздействия на поверхности с целью изменения механических свойств обрабатываемых материалов. Среди них отдельный интерес представляет химико-термическая обработка, в том числе и азотирование, которое может быть особенно эффективно для уменьшения разрушения рабочих поверхностей деталей и узлов. В методах, основанных на воздействии на мишень плазменными потоками азота, термическая обработка сочетается с одновременной ионной имплантацией. В то же время получение плазменных потоков с параметрами, достаточными для существенной модификации материалов, не является тривиальной задачей. На данный момент исследования по воздействию плазменных потоков на различные образцы ограничиваются условиями либо высокоэнергетического импульсного воздействия (длительностью до нескольких десятков микросекунд) [1], либо более продолжительного, но менее интенсивного воздействия с относительно небольшой скоростью набегания потока ($10^5 \div 10^6$ см/с) [2]. Такое положение объясняется отсутствием в мировой практике достаточно высокоэнергетических плазменных систем, способных работать в квазистационарных режимах на уровне сотен микросекунд. В настоящее время наибольший интерес для получения высокоэнергетических плазменных потоков представляют квазистационарные плазменные ускорители с собственным магнитным полем, к которым относится и магнитоплазменный компрессор (МПК). В МПК ускорение плазмы в аксиально-симметричной системе двух электродов сопровождается ее сжатием за счет взаимодействия продольной составляющей тока с собственным азимутальным магнитным полем [3]. В результате на выходе ускорителя формируется компрессионный плазменный поток, параметры плазмы в котором существенно выше, чем в межэлектродном промежутке [4]. По существу компрессионный плазменный поток представляет собой направленный поток ионов с малым разбросом скоростей, объемный заряд которых компенсирован электронами.

2. Методика исследований.

Экспериментальные исследования по воздействию компрессионных потоков различной мощности на образцы из армко-железа проводили с газоразрядным МПК компактной геометрии, энергия конденсаторной батареи которого составляет 9,6 кДж ($C_0 = 1200$ мкФ, $U_0 = 4$ кВ). Эксперименты проводили в режиме остаточного газа, при котором предварительно откачанная вакуумная камера МПК заполняется рабочим газом (азотом) до заданного давления, равного 400 Па. Длительность разряда в МПК составляет 100 мкс, причем ввод энергии накопителя в плазму заканчивается в основном к концу первого полупериода, $k \sim 60$ мкс. Амплитудное значение разрядного тока в условиях экспериментов достигает 70 кА. На выходе ускорителя формируется компрессионный плазменный поток диаметром 0,7 см и длиной 10 см, который затем расходится с углом полураскрытия струи $10 \div 15^\circ$. Скорость плазменных образований компрессионного потока составляет $(5-6) \cdot 10^6$ см/с, концентрация электронов плазмы – $(2 \div 3) \cdot 10^{17}$ см⁻³, а ее температура – $2 \div 3$ эВ [4-6]. Плотность мощности компрессионного потока, определенную калориметрическим методом непосредственно на по-

верхности образца, задавали в пределах $4 \cdot 10^4 - 5 \cdot 10^4$ Вт/см² [7]. Фазовый состав и кристаллическую структуру исследовали с помощью дифрактометра общего назначения ДРОН-3 с фокусировкой по Брэггу-Брентано в медном излучении. Оже-спектры получали на приборе РНІ-660 фирмы Perkin Elmer. Для качественного и подробного металлографического исследования воздействия компрессионных плазменных потоков на приповерхностные слои использовался оптический микроскоп «Neophot 21». При различных увеличениях были сделаны фотографии шлифов обработанных образцов, что позволило распознать структурные изменения приповерхностных слоев. С помощью микроскопа также были измерены толщины модифицированных слоев. Механические испытания проводили на микротвердомере ПМТ-3.

3. Результаты экспериментов.

Процесс обработки железа азотистой плазмой предполагает внедрение азота в α -Fe решетку. Температура плазмы у обрабатываемой поверхности составляет порядка 10^4 К. В этом случае насыщение азотом происходит в ϵ -области. Конечная структура модифицированного слоя, формирующегося в результате последующего охлаждения, представлена на рис. 1. Модифицированный слой состоит из двух зон, толщины которых увеличиваются с возрастанием мощности набегающего потока (рис. 1а,б). Каждая из этих зон имеет примерно один и тот же набор фазовых составляющих, но в различных соотношениях. Методом рентгеноструктурного анализа установлено, что эти фазы представляют собой азотистые аустенит и мартенсит, а также нитрид переменного состава ϵ -Fe_{2+x}N ($0 \leq x \leq 1$) (рис. 2).

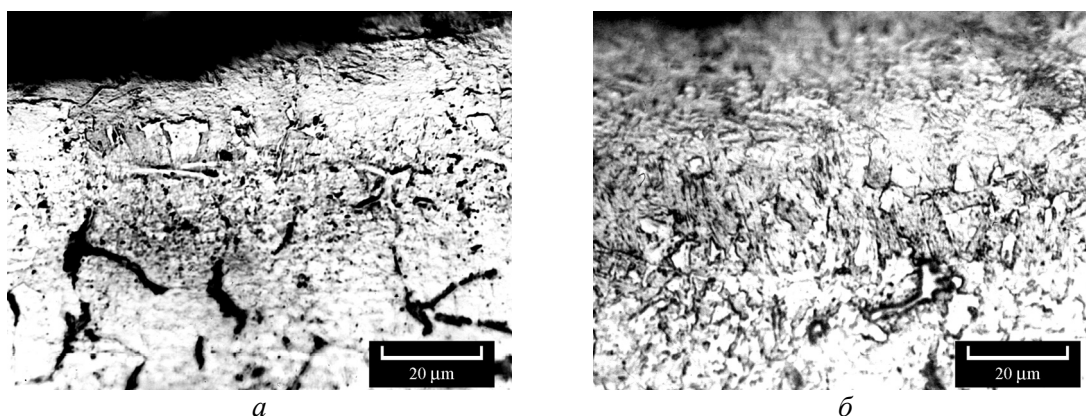


Рис. 1. Микроструктура модифицированного слоя образцов армо-железа, обработанных потоком с плотностью мощности: а – $4 \cdot 10^4$ Вт/см²; б – $5 \cdot 10^4$ Вт/см².

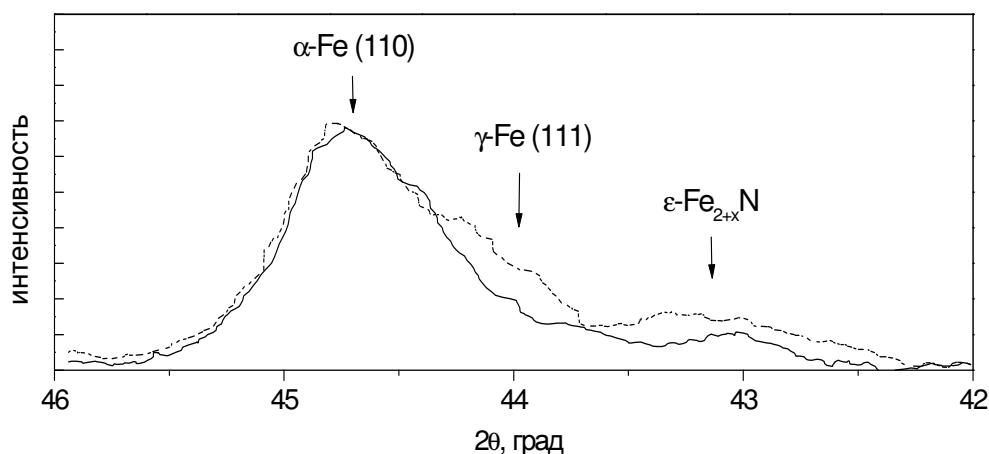


Рис. 2. Фрагменты дифрактограмм образцов армо-железа, обработанных потоком с плотностью мощности:
— $4 \cdot 10^4$ Вт/см²;
- - - $5 \cdot 10^4$ Вт/см².

Основной составляющей первой зоны является высокодисперсный мартенсит твердостью ~ 7 ГПа с включениями остаточного азотистого аустенита. Толщина данного слоя составляет $\sim 6-7$ мкм. С возрастанием мощности потока, более чем в 2 раза увеличивается толщина данной зоны и повышается однородность мартенсита (рис. 1б). Вторая зона размером ~ 12 мкм представляет собой фазы, имеющие столбчатое строение и твердость ~ 4 ГПа, что хорошо согласуется с литературными данными о формировании под поверхностным слоем столбчатых нитридных фаз [8]. Состав этих фаз практически не идентифицируется: он может лежать в диапазоне от $\zeta\text{-Fe}_2\text{N}$ до $\gamma\text{-Fe}_4\text{N}$. Толщина этой зоны составляет ~ 15 мкм и явно не зависит от мощности плазменного потока. Далее в глубь образца следует переходная зона толщиной несколько десятков микрон, отличающаяся от структуры исходного образца незначительным присутствием всех вышеперечисленных фаз.

По данным оже-электронной спектроскопии, всего в приповерхностных слоях обработанных образцов содержится до 20 ат. % азота (рис.3), что соответствует эвтектоидному составу. Уменьшение поверхностной концентрации азота с увеличением мощности обусловлено дополнительным «сносом» формирующихся слоев набегающим потоком.

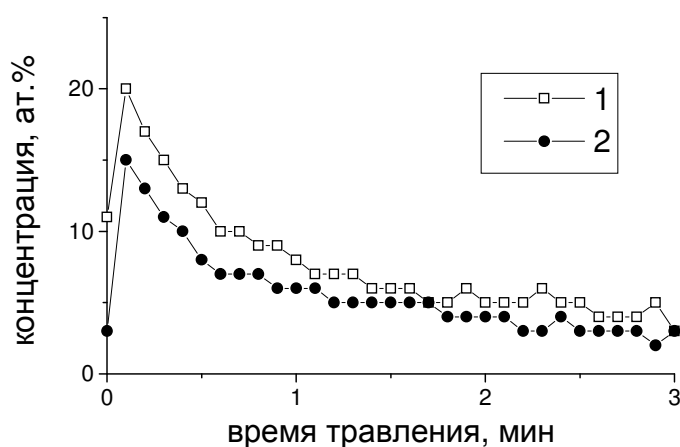


Рис. 3. Концентрационные профили азота по глубине в образцах, обработанных потоком с плотностью мощности: 1 — $4 \cdot 10^4$ Вт/см²; 2 — $5 \cdot 10^4$ Вт/см².

Таким образом, конечная структура приповерхностной области армко-железа, обработанного компрессионным плазменным потоком азота, сформирована в результате эвтектоидного распада при охлаждении из ϵ -области.

4. Заключение.

В результате проведенных исследований установлено, что воздействие на образцы железа компрессионными плазменными потоками, генерируемыми МПК, приводит к формированию приповерхностного слоя на основе азотистого мартенсита, за которым следует зона столбчатых фаз.

Список использованных источников

- [1] N.I.Arkipov, V.P.Bakhtin, V.M.Safronov et al. // XXI International Conference on Phenomena in Ionized Gases. Proceedings. — Bochum, Germany, v. 2, pp. 169-170, 1993.
- [2] М.Н.Волошин, Д.А.Гасин, И.Р.Кораблева и др. // Физика и химия обработки материалов, 1993. № 1, с. 67-70.
- [3] Виноградова А.К., Морозов А.И. Стационарные компрессионные течения // Физика и применение плазменных ускорителей. — Минск, 1974. — С. 103-141.
- [4] Асташинский В.М., Ефремов В.В., Костюкевич Е.А. и др. // Физика плазмы, 1991. Т.17, с. 1111-1115.
- [5] В.М.Асташинский, Г.И.Баканович, Е.А.Костюкевич и др. // ЖПС, 1989. Т.50, с. 887-891.
- [6] В.М.Асташинский, Г.И.Баканович, А.М.Кузьмицкий и др. // ИФЖ, 1992. Т.62, с. 386-390.
- [7] В.В.Углов, В.М.Анищик, В.В.Асташинский и др. // Письма в ЖЭТФ, Т.74, вып. 4, с. 234-236.
- [8] И.Е.Конторович, А.А.Совалова // ЖТФ, 1950, Т.20, №1, с. 53.