

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПЕРСПЕКТИВНЫХ
МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ МГИЭМ (ТУ)

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОНИКИ И МАТЕМАТИКИ
(ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ «НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ ПО
ПРИОРИТЕТНЫМ НАПРАВЛЕНИЯМ НАУКИ И ТЕХНИКИ»

ТРУДЫ

ХІІІ МЕЖДУНАРОДНОГО СОВЕЩАНИЯ
«РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА»

(Севастополь, 30 июня – 5 июля 2003г.)

под редакцией заслуженного деятеля науки РФ, д.ф.-м.н., проф. Бондаренко Г.Г.

Москва - 2003

СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ЖЕЛЕЗА И ЕГО СПЛАВОВ, ОБРАБОТАННЫХ КОМПРЕССИОННЫМ ПЛАЗМЕННЫМ ПОТОКОМ

В.В. Углов, В.М. Анищик, В.В. Асташинский, Ю.В. Свешников,
Е.К. Стальмошенок

Белорусский государственный университет
(пр. Ф. Скорины 4, 220080 Минск, Беларусь, e-mail: uglov@bsu.by)

В.В. Аскерко, А.М. Кузьмицкий

Институт молекулярной и атомной физики НАН Беларуси
(пр. Ф. Скорины 70, 220072 Минск, Беларусь, e-mail: lrpd@imaph.bas-net.by)

Н.Т. Квасов

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(ул. П. Бровки 6, Минск-220027, Беларусь, e-mail: device@micro.rei.minsk.by)

The present work reports the results of studies of phase and element structure, as well as a microstructure of iron layer and steel layer caused by compression plasma flow action. As a result of such an action, the layer by thickness of tens micrometers immediately adjacent to a sample surface is formed. Its phase structure represents a superposition of following phases: α , α' , $\gamma_{C,N}$ and ϵ -Fe_{2+x}N ($0 \leq x \leq 1$). Concentration of nitrogen in the surface layer reaches 15÷30 atomic percents.

Введение. Применение направленных плотных плазменных потоков с малой расходимостью и относительно большой длительностью существования (~ 100 мкс) открывает широкие перспективы для модификации поверхностных слоев материалов [1-4]. Такие потоки получают с помощью квазистационарных плазменных ускорителей с собственным азимутальным магнитным полем, в которых ускорение плазмы сопровождается формированием на выходе разрядного устройства компрессионного потока, параметры плазмы которого существенно выше, чем в межэлектродном промежутке [5]. В работе представлены результаты исследований основных закономерностей изменения микроструктуры и фазового состава поверхностных свойств железа, углеродистой и быстрорежущей сталей, широко распространенных в машиностроении, при воздействии на них компрессионными потоками азотной плазмы.

Методика проведения экспериментов. В качестве объектов исследования использовали железо и его сплавы: армко-железо, высококачественная инструментальная углеродистая сталь У8А и быстрорежущая сталь Р6М5. Плазменную обработку поверхностей осуществляли в газоразрядном магнитоплазменном компрессоре (МПК) компактной геометрии с энергией накопителя (9,6 кДж) при начальном напряжении на конденсаторной батарее $U_0 = 4$ кВ [6].

Эксперименты проводили в режиме “остаточного газа”, при котором предварительно откачанную вакуумную камеру МПК заполняли рабочим газом (азотом) до заданного давления, равного 400 Па. Амплитудное значение разрядного тока МПК в условиях экспериментов достигало 70 кА при длительности разряда порядка 80 мкс. 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 $(5 \div 6) \cdot 10^6$ см/с, концентрация электронов плазмы – $(4 \div 7) \cdot 10^{17}$ см⁻³, а ее температура – $2 \div 3$ эВ [6]. Изменение плотности мощности потока в условиях экспериментов происходит в диапазоне $(1,5 \div 2) \cdot 10^5$ Вт/см² [2]. Металлографические исследования поперечного сечения образцов проводили на оптическом микроскопе “Neophot 21”. Оже-спектры получали на приборе РН-660 фирмы Perkin Elmer. Фазовый состав и кристаллическую структуру исследовали с помощью дифрактометра общего назначения ДРОН-3 с фокусировкой по Брэггу-Брентано в медном излучении.

Результаты исследований. Плазменная обработка приводит к существенной модификации поверхностных слоев всех обработанных материалов. Особенности сформированной структуры обусловлены степенью завершенности процесса аустенизации, определяемой параметрами воздействия и исходной структурой. Металлографическими исследованиями выявлено, что модифицированный слой состоит из 2 зон (рис. 1). Характерными особенностями первой зоны для всех исследуемых образцов являются однородность и дисперсность. Структура и фазовый состав второй зоны зависят от обрабатываемого материала. Далее вглубь образца следует переходная зона, структура которой отличается от исходной включениями фазовых составляющих, характерных для модифицированного слоя.

Первая зона модифицированного слоя образца армко-железа образуется при закалке из расплавленного состояния, что определяет ее дисперсность и однородность. Толщина зоны составляет 7-15 мкм (рис. 1а). Данные рентгеноструктурного анализа (РСА) указывают на наличие в этой зоне азотистого феррита (α) и аустенита ($\gamma_{C,N}$), а также нитрида железа $\epsilon\text{-Fe}_{2+x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) (рис.2а). По данным оже-электронной спектроскопии (ОЭС) содержание азота в данной зоне превышает 15 ат. % (рис. 3а).

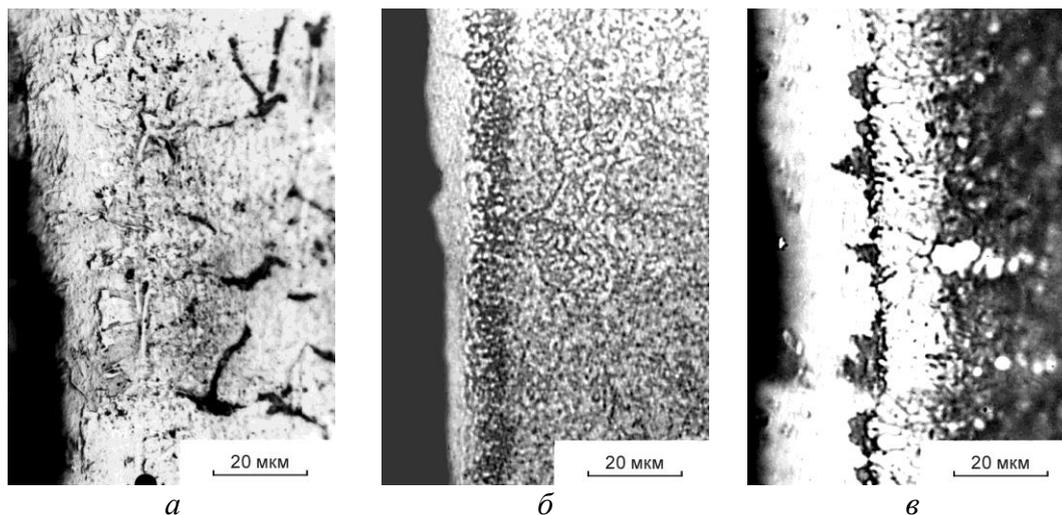


Рис. 1 Микроструктура модифицированного слоя обработанных образцов: а – армко-железо; б – сталь У8А; в – сталь Р6М5.

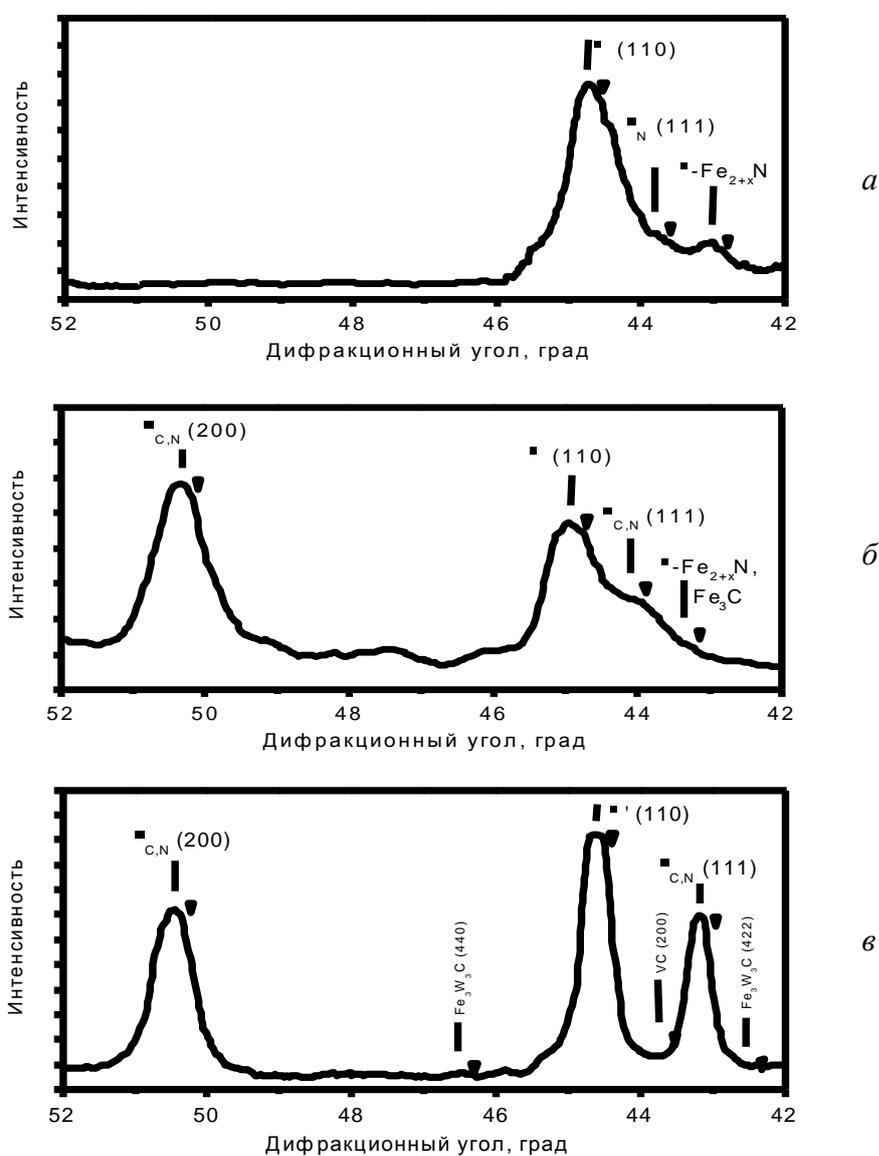
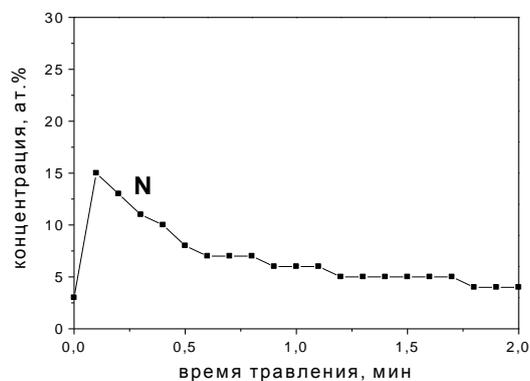
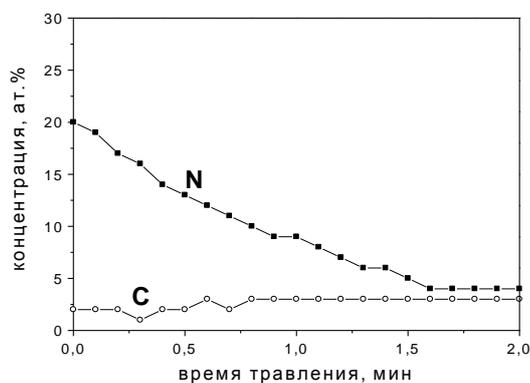


Рис.2. Фрагменты дифрактограмм обработанных образцов: а – армко-железо; б – сталь У8А; в – сталь Р6М5.

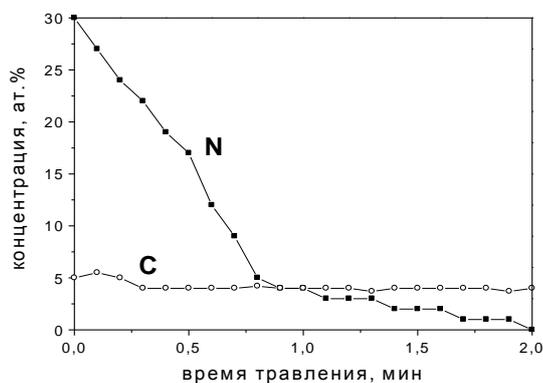
Вторая зона представляет собой столбчатые кристаллы нитридной фазы, ориентированные в направлении теплоотода (рис. 1а). Это совпадает с литературными данными для нитридных фаз столбчатой формы, проявляющихся после закалки под поверхностным слоем [7]. Максимальная толщина зоны составляет 15 мкм.



а



б



в

Рис.3. Концентрационные профили азота и углерода по глубине:
а – армко-железо; б – сталь У8А; в – сталь Р6М5.

В первой зоне модифицированного слоя образца углеродистой стали У8А содержание азота достигает 20 ат. % (рис. 3б). Толщина этой зоны составляет 5÷14 мкм. По данным РСА фазовый состав представляет собой суперпозицию α , $\gamma_{C,N}$, ϵ фаз. Вторая зона имеет постоянную толщину ~ 8 мкм и структуру зернистого перлита, т.е. $\alpha + Fe_3C$, с повышенной плотностью цементитных вклю-

чений. Дисперсность включений Fe_3C составляет 0,4-0,6 мкм [4] и совпадает со значением для частиц в центре обработанного и исходного образцов (рис. 1б).

На дифрактограммах обработанных образцов быстрорежущей стали Р6М5 присутствуют линии, соответствующие α' и $\gamma_{C,N}$ фазам. Отсутствие рефлексов от основных карбидов свидетельствует об их растворении при обработке. Таким образом, первая зона модифицированного слоя данного вида стали состоит из аустенита и мартенсита. Толщина этой зоны – 20 мкм. Концентрация азота по данным ОЭС достигает 30 ат. % (рис. 3в). Структура второй зоны представляет собой преимущественно мартенсит с карбидными включениями. Толщина второй зоны ~ 15 мкм (рис. 1в).

Формирование наблюдаемой микроструктуры связано с энергетическим воздействием компрессионного потока на поверхность, что ведет к быстрому ее разогреву, плавлению поверхностного слоя, развитию термоупругих напряжений, растеканию плазмы по поверхности, обусловленному динамическим давлением компрессионного потока (порядка нескольких атмосфер), а также с внедрением ионов азота в обрабатываемые материалы.

Заключение. Проведенные исследования показали, что воздействие на образцы железа и сталей компрессионными плазменными потоками, генерируемыми МПК, приводит к формированию приповерхностного слоя на основе аустенита ($\gamma_{C,N}$) во всех изучаемых объектах. Этот слой получен при закалке из жидкого состояния. В процессе плазменной обработки наряду с термическим воздействием идет внедрение азота с образованием пересыщенных твердых растворов и нитридных фаз. Для быстрорежущей стали в первой зоне модифицированного слоя имеет место растворение вторичных карбидных фаз.

Литература

1. В.В.Углов, В.М.Анищик, В.В.Асташинский и др. Физика и химия обработки материалов. 2002, №3, С. 23-28.
2. В.В.Углов, В.М.Анищик, В.В.Асташинский и др. Письма в ЖЭТФ. Т.74, вып. 4. С.234-236.
3. V.V. Uglov, V.M. Anishchik, V.V. Astashynski et al. Surface and Coatings Technology, 2002, v. 158-159C, pp. 273-276.
4. V.M.Anishchik V.V.Uglov V.V.Astashynski et al. Vacuum, 2003, vol. 70, iss. 2-3, pp. 269-274.
5. А.И.Морозов. Физика плазмы. 1975, Т. 1, С.179.
6. В.М.Асташинский, В.В.Ефремов, Е.А.Костюкевич и др. Физика плазмы. 1991, Т.17, С. 1111.
7. А.Е.Бох. Строение и свойств двойных металлических систем. Т.1. М.: Физматгиз, 1959.