

ИЗМЕНЕНИЯ В ФАЗОВОМ СОСТАВЕ ЖЕЛЕЗА И СТАЛИ У8А, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЕМ КОМПРЕССИОННЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ

В.В. Углов¹⁾, В.В. Асташинский¹⁾, Ю.В. Свешников¹⁾, А.Л. Холмецкий¹⁾, А.М. Кузьмицкий²⁾

^{1)Белорусский Государственный университет,}

220080, Минск, пр.Ф.Скорины,4, тел. (017) 209-55-12, e-mail: uglov@bsu.by

^{2)Институт молекулярной и атомной физики НАНБ, пр.Ф.Скорины, 70, тел.284-10-65}

Исследовано влияние воздействия компрессионных плазменных потоков на фазовый и элементный состав железа и инструментальной стали У8А. Образцы подвергались обработке компрессионными плазменными потоками, генерируемыми газоразрядным магнитоплазменным компрессором компактной геометрии в режиме «остаточного газа». Установлено, что воздействие компрессионных плазменных потоков приводит к формированию глубоких (~ 20 мкм) модифицированных слоев повышенной дисперсности с высокой концентрацией азота (~ 20 ат.%) как в железе, так и в инструментальной стали. В процессе плазменной обработки наряду с термическим воздействием идет внедрение азота с образованием твердых растворов и нитридных фаз.

Введение

Одним из множества различных по своей физической основе методов воздействия на поверхности с целью изменения свойств обрабатываемых материалов является химико-термическая обработка, в том числе и плазменная азотирование, которое может быть особенно эффективно для уменьшения разрушения рабочих поверхностей деталей и узлов. Улучшение эксплуатационных свойств металлических материалов при различных видах плазменной поверхностной обработки связано с целенаправленным изменением структурного фазового состояния и химического состава поверхностных слоев, в результате чего металлы и их сплавы приобретают в локальных объемах свойства, недостижимые при традиционных методах обработки. Из этих методов отдельный интерес представляет обработка компрессионными плазменными потоками, которые получают при помощи квазистационарных плазменных ускорителей с собственным магнитным полем. Воздействие такими потоками на различные материалы открывает принципиально новые возможности для модификации их поверхностных свойств с целью получения слоев, уникальных по своей структуре, фазовому составу и механическим свойствам [1, 2].

В данной работе представлены результаты мессбауэровских исследований фазового состава приповерхностных слоев железа и инструментальной стали У8А, сформированных в результате воздействия на них компрессионными плазменными потоками.

Основная часть

В качестве объектов исследования использовали железо (0,025 вес.% С) и высококачественную инструментальную углеродистую сталь У8А, содержание углерода в которой соответствует эвтектоидному значению (0,8 вес.%). Плазменную обработку поверхностей проводили в газоразрядном магнитоплазменном компрессоре (МПК) компактной геометрии с энергией накопителя (9,6 кДж) при начальном напряжении на конденсаторной батарее $U_0 = 4$ кВ [3-5]. 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 полуоткрытия струи $10+15^\circ$. Скорость плазменных образований компрессионного потока составляет $(5+6) \cdot 10^6$ см/с, концентрация электронов плазмы – $(4+7) \cdot 10^{17}$ см⁻³, а ее температура – $2+3$ эВ [3-5]. Эксперименты проводили при заданных значениях плотности мощности потока в диапазоне $(1,5+2) \cdot 10^5$ Вт/см² [1].

Металлографические исследования поперечного сечения образцов проводили на оптическом микроскопе «Neophot 21».

Для определения элементного состава применяли метод оже-электронной спектроскопии. Оже-спектры получали на приборе РН-660 фирмы Perkin Elmer. Установка была оснащена ионной пушкой для очистки поверхности и получения концентрационных профилей примеси по глубине. Ионы аргона, используемые для очистки, имели энергию 3,5 кэВ, плотность ионного тока составляла 50 мкА/см², угол падения пучка ионов на мишень составляла $60+70^\circ$. Область травления имела размеры 2 мм x 3 мм.

Данные о фазовом состоянии модифицированных слоев получены методами Мессбауэровской конверсионной электронной спектроскопии (МКЭС) и Мессбауэровской рентгеновской спектроскопии (МРС). В случае МКЭС происходит регистрация конверсионных электронов, длина свободного пробега которых составляет в железе ~ 0,1 мкм. Следовательно спектр МКЭС позволяет получить информацию о структурно-фазовом состоянии поверхностного слоя толщиной 0,1 мкм. В методе МРС осуществляется регистрация характеристического излучения исследуемого материала. Толщина слоя половинного ослабления рентгеновских лучей (в котором с помощью данного метода определяется фазовое состояние) составляет в железе ~ 10 мкм.

Особенности структуры приповерхностного слоя, формирующейся в результате обработки

компрессионными плазменными потоками, обусловлены степенью завершенности процесса аустенизации, которая в свою очередь определяется параметрами воздействия и исходной структурой. Металлографическими исследованиями выявлено, что модифицированный слой состоит из двух зон (рис. 1). Характерными особенностями первой зоны для всех исследуемых образцов являются однородность и дисперсность. Структура и фазовый состав второй зоны в большей степени определяются характеристиками обрабатываемого материала.

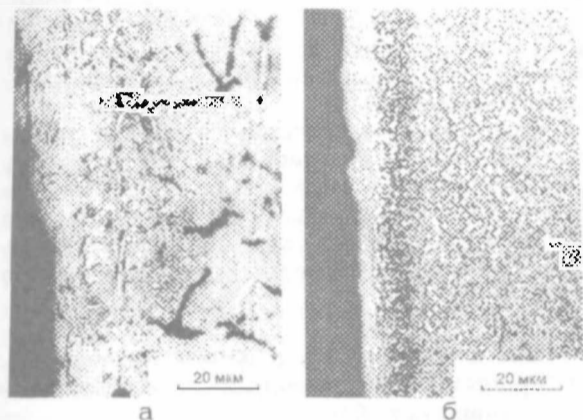


Рис. 1. Микроструктура модифицированного слоя обработанных образцов армо-железо (а) и стали У8А (б)

По данным оже-электронной спектроскопии в первой зоне модифицированного слоя содержится до 15 ат.% азота в образцах железа и до 20 ат.% азота в образцах стали У8А (рис. 2).

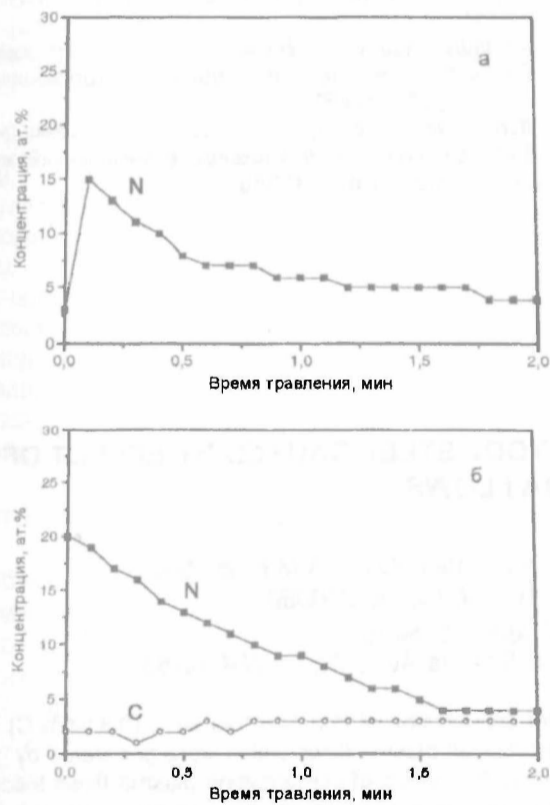


Рис. 2. Концентрационные профили азота и углерода по глубине: а – армо-железо; б – сталь У8А

Далее вглубь образца следует переходная зона, структура которой отличается от исходной включениями фазовых составляющих, характерных для модифицированного слоя.

Представленный на рис. 3а МРС спектр исходного образца железа представляет собой секстет, отвечающий α -Fe фазе. В МРС спектре обработанного образца (рис. 3б) доминирует α -Fe фаза (более 80%), но также присутствует образующихся у поверхности азотистый аустенит γ -Fe(N) и незначительное количество нитридных фаз (ϵ -Fe_{2+x}N, 0 ≤ x ≤ 1).

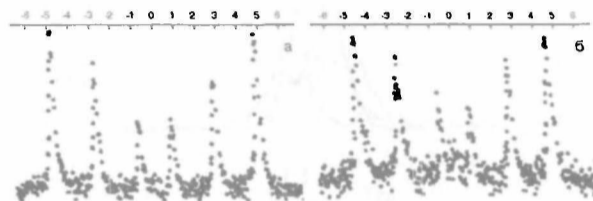


Рис. 3. МРС спектры исходного (а) и обработанного (б) образца железа

На рис. 4а представлен МКЭС спектр, соответствующий исходному образцу стали У8А. Он представляет собой типичный спектр стали, состоящий преимущественно из феррита. МКЭС спектр, отражающий структуру первой зоны модифицированного слоя образца стали У8А, представлен на рис. 4б. Согласно проведенным измерениям, данный слой содержит ~70% аустенита γ -Fe(C, N) и ~30% ферритно-мартенситной смеси. Подобная структура характерна для скоростной закалки стали из жидкого состояния.

Более детальное изучение центральной группы спектра (рис. 5) представляет собой совокупность аустенитной фазы γ -Fe(C, N) (~50%) и нестехиометрических фаз оксида железа (~20%).

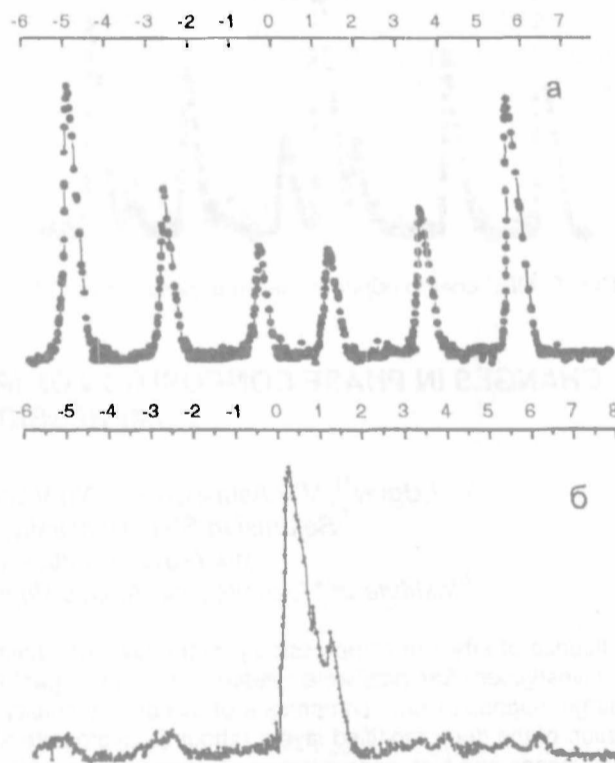


Рис. 4. МКЭС спектры исходного (а) и обработанного (б) образца стали У8А (диапазон скоростей ±6 мм/с)

Результаты проведенного МРС измерения данного образца представлены на рис. 6. Полученные результаты свидетельствуют об уменьшении концентрации аустенита примерно до 15%, что позволяет заключить о присутствии фазы γ -Fe(C, N) преимущественно в первой зоне.

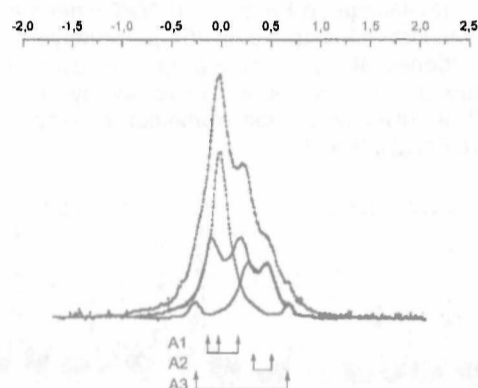


Рис. 5. Детальный МКЭС спектр обработанного образца стали У8А (диапазон скоростей ± 2 мм/с). А1 – γ -Fe(C, N); А2 – Fe_{0,95}O; А3 – 3, 4 линии мартенсита

Механизм образования наблюдаемой микроструктуры и фазового состава модифицированного слоя, на наш взгляд, подобен механизмам затвердевания из жидкой фазы. В течение первых 100 мкс обработки происходит плавление поверхностного слоя образца за счет термализации кинетической энергии плазменного потока при его торможении на мишени, после чего расплав начинает быстро охлаждаться за счет теплоотвода в объем.

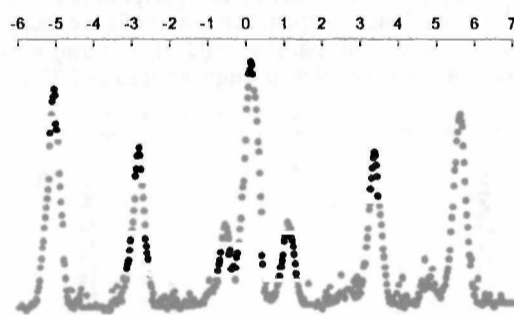


Рис. 6. МРС спектр обработанного образца стали У8А

Заключение

Проведенные исследования показали, что воздействие на образцы железа и стали компрессионными плазменными потоками, генерируемыми МПК, приводит к формированию достаточно однородного приповерхностного слоя с высокой концентрацией азота (~ 20 ат.%) во всех изучаемых объектах.

Фазовый состав модифицированной области обработанных образцов претерпевает существенные изменения по сравнению с исходным. В поверхностном слое глубиной ~ 10 мкм образуется азотистый аустенит. Его концентрация максимальна на поверхности стали (~ 70% в слое 0,1 мкм) и уменьшается по глубине. Кроме того, в этом же слое образуется фаза нестехиометрического оксида железа.

Управление параметрами процесса, такими как длительность воздействия, скорость плазмы, ее температура и давление, позволит получать новые структурно-фазовые состояния материала с физико-механическими характеристиками, представляющими интерес для практического применения.

Работа выполнялась в рамках государственной программы фундаментальных исследований «Плазгодинамика-01».

Список литературы

1. Uglov V.V., Anishchik V.M., Astashynski V.V. et al. // Surface and Coatings Technology. – 2002. – Vol.158-159C. – P.273.
2. Anishchik V.M., Uglov V.V., Astashynski V.V. et al. // Vacuum. – 2003. – Vol.70, iss. 2-3. – P.269
3. Асташинский В.М., Ефремов В.В., Костюквич Е.А. и др. // Физика плазмы. – 1991. – Т.17. – С.1111.
4. Асташинский В.М., Баканович Г.И., Костюквич Е.А. и др. // Журнал прикладной спектроскопии. – 1989. – Т.50. – С.887.
5. Асташинский В.М., Баканович Г.И., Кузьмицкий А.М., Минько Л.Я. // Инженерно-физический журнал. – 1992. – Т.62. – С.386.

CHANGES IN PHASE COMPOSITION OF IRON AND TOOL STEEL CAUSED BY EFFECT OF COMPRESSION PLASMA FLOWS

V.V.Uglov¹⁾, V.V.Astashynski¹⁾, Yu.V.Sveshnikov¹⁾, A.L.Kholmetski¹⁾, A.M.Kuzmitski²⁾

¹⁾Belarusian State University, F.Skaryna Ave., 4, Minsk, 220080,
ph. (+375-17) 209-55-12, e-mail: uglov@bsu.by

²⁾Institute of Molecular and Atomic Physics NASB, F.Scarina Ave., 70, tel.284-10-65

Influence of effect of compression plasma flows on phase and element composition of iron and tool steel (0.8 wt.% C) has been investigated. Samples were treated in a "residual gas" mode by compression plasma flows which were generated by gas-discharge magnetoplasma compressor of compact geometry. It is established that effect of compression plasma flows leads to formation of the deep modified layers (about 20 micrometers) in iron and in tool steel. Such layers are characterized by higher dispersiveness and high concentration of nitrogen (about 20 at.%). During plasma processing simultaneously with thermal influence an introduction of nitrogen and formation of firm solutions and nitride phases was observed.