

СТРУКТУРА НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ

А.М. Жукешов, А.Т. Габдуллина, А.У. Амренова, Ж.М. Молдабеков, К. Фермахан
Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, Казахстан, zhukeshov@physics.kz

В данной работе представлен анализ структурно-фазовых изменений в образцах нержавеющей стали, обработанных импульсными плазменными потоками. Изучена последовательность фазовых переходов в модифицированных слоях в зависимости от кратности обработки. Изменения в структуре исследуемых конструкционных сталей, связанные с формированием новых фаз и микроискажениями в кристаллической решетке, исследованы методом РСА. Показано, что после обработки разным числом выстрелов в образцах нержавеющей стали происходит плазменное травление и перераспределение кристаллитов.

Введение

Как известно, обработка импульсными потоками плазмы обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными технологическими процессами термической и химико-термической обработок [1]. Технологии поверхностного упрочнения основаны на модифицирующем воздействии на поверхность металла импульсными потоками плазмы, что радикально меняет ее структуру и свойства [2-6]. Импульсная плазменная обработка является одним из эффективных способов модификации поверхности твердого тела.

Ранее в работах [7, 8] были проанализированы изменения структуры обычных и нержавеющей сталей, обработанных на ускорителе КПУ-30. В обычных углеродистых сталях обнаружено сильное уменьшение размеров кристаллитов при возрастании энергии, в нержавеющей сталях этого не происходит. Кроме этого, нитрид железа при воздействии азотной плазмой однозначно идентифицировался только в нержавеющей стали. Таким образом, чтобы выяснить причину упрочнения материалов, необходимо провести исследования на материалах, которые сочетают в себе свойства и углеродистой, и нержавеющей стали, и произведены по одной и той же технологии. Нержавеющая сталь марки AISI 201, в которой никель для стабилизации аустенитной структуры частично заменен на марганец и азот, зарекомендовала себя как эффективный заменитель стандартных хромоникелевых сталей. В данной работе представлен анализ структурно-фазовых изменений в образцах конструкционных сталей, обработанных импульсными плазменными потоками: нержавеющей стали марок AISI 201 и AISI 321.

Основная часть

Образцы исследуемого материала были подвержены импульсной обработке на коаксиальном плазменном ускорителе КПУ-30 при остаточном давлении воздуха 13.3 Па. При напряжении заряда 20-22 кВ плотность энергии плазменного потока изменялась в диапазоне 14.2-15.4 Дж/см². Во время эксперимента образцы помещались в рабочую камеру на расстоянии 7 см от торца центрального электрода в зону плазменного фокуса.

С помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ) можно рассмотреть детально рельеф поверхности в двух видах изображения: на плоско-

сти и в 3D формате. При этом были получены пространственные изображения трех различных областей. В качестве примера на рисунке 1 представлено АСМ-изображение поверхности образца стали 201, подверженной двукратному воздействию плазменного потока.

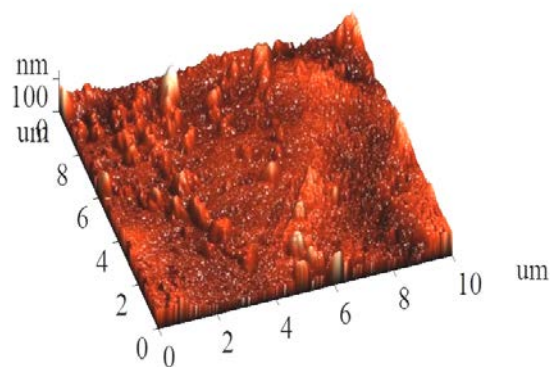


Рис. 1. Поверхность стали 201 после импульсной плазменной обработки (n = 2)

Как показывает анализ данных по 201 стали, при двукратной обработке оплавление поверхности приводит к локальному образованию блистеров, также встречаются участки со столбчатыми кристаллитами, формирующимися в направлении, перпендикулярном к поверхности. Десятикратная обработка приводит к усилению эффекта от двукратной обработки, и столбчатые кристаллиты перемещаются преимущественно к границам зерен (блоков). В работе представлены количественные оценки размеров кристаллитов. АСМ-анализ результатов экспериментов по обработке стали AISI 321 показал, что в отличие от стали марки AISI 201, высота столбчатых кристаллов уже при двукратной обработке намного больше, чем это характерно для стали AISI 201, но так же, как и в случае AISI 201 (n=10), столбчатые кристаллиты преимущественно расположены по границам зерен. На отдельных участках стали AISI 321 так же, как и в стали AISI 201, видны следы блистерообразования. Кроме того, для данной марки стали ни на одном образце не было обнаружено следов расслаивания поверхности, что, по-видимому, для данной стали не характерно. По предварительным результатам можно сделать

выводы, что при определенных параметрах плазменного воздействия модификация структуры поверхности конструкционных сталей посредством оплавления сопровождается разрушением кристаллических связей и плазменным травлением.

Для определения изменения физико-механических свойств в данной работе приведены исследования микротвердости на металлографическом микроскопе «METAVAL» по методу Виккерса. Измерения микротвердости поверхности сталей AISI 201 и AISI 321, обработанных импульсными потоками плазмы проводились на трех участках с различным рельефом поверхности. Сравнивая результаты измерения микротвердости на различных участках двукратно обработанной поверхности с исходной, было установлено, что упрочнение поверхности происходит неравномерно, с наличием локальных участков как с повышенной, так и пониженной твердостью. Если сравнить эти участки с результатами АСМ-анализа, то в первом случае понижение твердости соответствует «расслаиванию» поверхности (1 область), во втором случае – блистерообразованию (2 область), и в третьем случае повышение микротвердости может быть связано с «разравниванием» поверхности и упорядочением размещения столбчатых кристаллитов по всей поверхности участка (3 область).

В результате десятикратной обработки, как показали измерения, упрочнение поверхности на всех трех участках возрастает незначительно (~100 МПа), при этом имеются участки, где микротвердость очень нестабильна (3 область). Сравнивая с результатами АСМ-метода можно предположить, что это может быть связано с перераспределением столбчатых кристаллитов (преимущественное распределение по границам зерен) и увеличением их размера (высоты).

Измерения микротвердости AISI 321, проведенные после двукратной обработки показали ее понижение по сравнению с исходной в значительно большей степени, чем для стали AISI 201, а результаты десятикратной обработки, наоборот, показывают, что характерный рост микротвердости более значителен для AISI 321 (на ~150-300 МПа), чем в случае предыдущей марки стали, но при этом средняя микротвердость намного меньше данных, полученных ранее [7, 9]. Возможно, это связано с формированием блочной структуры, характерной для плазменного травления.

Анализ данных по усредненным значениям микротвердости поверхности обеих марок исследуемых сталей показал, что в среднем больший рост микротвердости характерен для AISI 321 ($n=10$). Несмотря на то, что изменения микротвердости незначительные, тем не менее, они имеют место, кроме того, результаты РЭМ и АСМ показывают наличие оплавления поверхности, это говорит о вероятных структурно-фазовых изменениях при плазменной обработке.

Далее, рассмотрим данные PCA десятикратно обработанной стали марок AISI 201 и AISI 321 образцов. Как показали исследования, в исходном состоянии образцы стали имели ферритную

и аустенитную фазу с параметром кристаллической решетки $a=0.36057\pm0.00006$ нм и 0.35824 ± 0.00006 нм соответственно. После обработки образец стали 201 имеет две фазы. Одна из этих фаз принадлежит аустениту с параметром кристаллической решетки $a=0.35958\pm0.00006$ нм. Параметр аустенита несколько меньше, чем в исходном образце, что может быть связано с искажением кристаллической решетки стали при плазменной обработке. Вторая фаза принадлежит нитриду железа $FeN_{0.076}$ с параметром решетки $a=0.36263\pm0.00007$ нм. При сравнении между собой интенсивностей линий дифракции нитрида железа и аустенита для одинаковых плоскостей можно сделать вывод о том, что нитрид не является преобладающей фазой. Возможно, что нитрид железа находится в приповерхностном слое, а аустенит несколько глубже. В этом случае толщина нитрида мала. Таким образом, данные рентгеноструктурного анализа подтверждают возможность увеличения микротвердости после обработки поверхности материала импульсной плазмой. При этом упрочнение поверхности может быть связано с формированием в исследуемой стали новой фазы $FeN_{0.076}$, как предполагалось в ранних работах [9].

В результате десятикратной обработки плазменными потоками стали AISI 321 при давлении 13.3 Па обнаружены новые фазы – нитрид железа $FeN_{5.6}$ и, возможно, карбид железа Fe_3C . Число линий Fe_3C крайне мало для идентификации. Имеет место уширение линий, принадлежащих нитриду железа, по сравнению с линиями аустенита. Уширение линий нитрида железа связано с искажением решетки нитрида, степень искажения которой увеличивается при увеличении кратности обработки. Согласно данным рентгеноструктурного анализа, размер кристаллитов аустенита уменьшается больше, чем в 4 раза при кратности обработки $n=10$ по сравнению с необработанной сталью AISI 321. Причем после десятикратной обработки размер кристаллитов обеих фаз одинаков. Следовательно, многократная импульсная плазменная обработка наиболее эффективна для измельчения кристаллитов аустенита и, особенно, нитрида железа так же, как и в случае стали AISI 201.

Заключение

По результатам выполненных работ можно сделать выводы, что обработка импульсными потоками плазмы приводит к структурно-фазовым изменениям и дефектообразованием. Во-первых, после обработки происходит плазменное травление, перераспределение кристаллитов по границам зерна. Во-вторых, при многократной обработке ($n=10$) исследуемых образцов твердость поверхности увеличивается, причем для стали марки 321 эффект более выражен, чем для марки 201. Модификация свойств связывается с формированием новой фазы – нитрида железа, а также микроискажениями в кристаллической решетке, что может быть ответственным за упрочнение.

Список литературы

1. Lieberman M.A., Lichtenberg A.G. Principles of plasma discharges and materials processing. John Wiley & Sons Inc., New York, 1994. 450 p.
2. Piekoszewski J. // NUKLEONIKA. 2000. V. 45 (3). P.193-197.
3. Richter E. // Surface and Coatings Technology. 2002. V. 158-159. P. 324-327.
4. Tomida S., Nakata K. // Surface and Coatings Technology. 2003. V. 174-175. P. 559-563.
5. Углов В.В., Черенда Н.Н., Анищик В.М., Асташинский В.М., Квасов Н.Т. Модификация мате-

- риалов компрессионными плазменными потоками. Минск: БГУ, 2013. 248 с.
6. Uglov V.V., Kuleshov A.K., Soldatenko E.A., Koval N.N., Ivanov Yu.F., Teresov A.D. // Surface and Coatings Technology, 2012. V. 206, Iss. 11-12, P. 2972-2976.
 7. Жукешов А.М. // Известия НАН РК, серия физико-математическая. 2013. № 2. С. 71-74.
 8. Zhukeshov A. // Journal of Physics. Conference series. 2007. V. 63. P. 012014.
 9. Жукешов А.М., Габдуллина А.Т. // Вестник НЯЦ РК. 2007. № 2. С. 28-31.

STRUCTURE OF THE STAINLESS STEEL AFTER PULSE PLASMA FLOW RADIATION

A.M. Zhukeshov, A.T. Gabdullina, A.U. Amrenova, M.M. Moldabekov, K. Fermakhan
Al Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, Zhukeshov@physics.kz

Surface hardening technologies are based on a modifying effect on the metal surface by pulsed energy, radically changes its structure and properties. Pulsed plasma treatment is one of the effective methods for modifying the surface of a solid. Earlier the changes of structure of ordinary and stainless steels were made by processing on the KPU-30 accelerator. In ordinary carbon steels, a strong decrease in the crystallite size is observed with increasing energy, this does not occur in stainless steels. In addition, iron nitride under the influence of nitrogen plasma was uniquely identified only in stainless steel. Thus, in order to find out the reason for the hardening of materials, it is necessary to conduct research on materials that combines the properties of both carbonaceous and stainless steel, and produced by the same technology. This paper presents an analysis of structural-phase changes in samples of AISI 321 (12X18H10T) and AISI 201 (12X15Г9НД) stainless steel samples treated with pulsed plasma streams. The sequence of phase transitions in modified layers is studied depending on the multiplicity of the treatment. It is shown that after processing with a small number of shots ($n = 2$), plasma etching and redistribution of crystallites occur in stainless steel samples. With a tenfold processing, the structure of the near-surface layer becomes more ordered, nanoscale columnar blocks appear uniformly along the surface and their tracks are located predominantly along the grain boundaries. Changes in the structure of the structural steels being studied, related to the formation of new phases and microarrays in the crystal lattice, have been studied by the X-ray diffraction method. According to the results of the performed work, it can be concluded that processing by impulse plasma flows leads to structural-phase changes and defect formation.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОКСИДА ГРАФЕНА В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ

М.М. Мырзабекова, Р.Р. Немкаева, Н.Р. Гусейнов, М.Т. Габдуллин
*Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа
 при Казахском национальном университете имени аль-Фараби,
 аль-Фараби 71, Алматы, Казахстан,*

markizat.myrzabekova@gmail.com, quasisensus@mail.ru, solar_neo@mail.ru, gabdullin@physics.kz

Благодаря своим свойствам графен является одним из наиболее популярных двумерных материалов. Однако существует ряд препятствий, затрудняющих начало его широкого применения в электронике, в частности, сложность синтеза больших площадей высокого качества, а также нулевая ширина запрещенной зоны. В то же время функционализированный графен - оксид графена (graphene oxide - GO) обладает несколькими перспективными преимуществами: процесс производства GO довольно прост и применим даже для получения больших количеств, кроме того, существует ряд методов для его восстановления, которые позволяют достигать электро- и теплопроводных свойств, близких к исходному графену. В данной работе представлены результаты ступенчатой модификации тонких пленок GO с помощью различных доз электронного облучения. Методом атомно-силовой микроскопии было обнаружено существенное уменьшение толщины исследуемых образцов после облучения. Подобное поведение может быть связано с частичным восстановлением оксида графена, поскольку данные рентгеновской дифракции также демонстрируют разницу в межплоскостных расстояниях для графита, GO и восстановленного GO. Другим важным подтверждением процесса восстановления в результате облучения является ступенчатое сокращение содержания кислорода в образцах GO, подверженных различным дозам электронного облучения, данные о котором были получены методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии. Таким образом, данные результаты можно использовать для модификации пленок оксида графена, а варьируя дозой облучения, достигать различных степеней восстановления и, соответственно, различных значений проводимости.

Введение

Графен привлекает большой интерес в качестве перспективного материала для будущих технологий. Однако на сегодняшний день не удалось разработать универсальный, быстрый и эффек-

тивный метод для его производства. Наиболее широко используемыми методами являются химическое паровое осаждение (CVD), лазерная абляция графитовой мишени, электродуговой разряд между графитовыми электродами и раз-