

УДК: 533.9.004.14; 621.039.6

Ф. Б. БАИМБЕТОВ, А. М. ЖУКЕШОВ, А. Т. ГАБДУЛЛИНА

## ИЗМЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ИМПУЛЬСНОЙ ПЛАЗМОЙ

Исследовано воздействие потоков плазмы, сформированных импульсным плазменным ускорителем, на поверхность высокоуглеродистой стали. Изучены закономерности изменения микротвердости и износостойкости материала при обработке плазмой различных газов.

Упрочнение рабочей поверхности сталей или поиск возможных путей получения материалов с более высокими характеристиками поверхностного слоя, такими, как износостойкость и твердость, являются перспективным направлением исследований, имеющим прикладную значимость. Обработка поверхности конструкционных материалов импульсными потоками плазмы является уникальным методом, который позволяет целенаправленно изменять физико-механические свойства в результате закалки тонкого поверхностного слоя и легирования примесями. В данном направлении получены некоторые новые результаты [1], однако для полного понимания всех особенностей взаимодействия импульсной плазмы с веществом необходимы систематические исследования. В этой связи представляет интерес плазменная обработка поверхности недорогих сортов черной стали в целях изучения возможности улучшения их поверхностных свойств.

В статье представлены результаты экспериментальных работ по исследованию поверхностной микротвердости и износостойкости образцов высокоуглеродистой стали после плазменной обработки на импульсном плазменном ускорителе КазНУ [2]. Особенность работы ускорителя состоит в том, что при одном и том же ускоряющем напряжении (10–30 кВ) плотность энергии зависит от плазмообразующей среды и изменяется от 10 до 120 Дж/см<sup>2</sup>. В качестве плазмообразующих сред были использованы активные газы – азот и углекислота. Установка позволяет получать ускоренный поток газовой плазмы со скоростью ~10<sup>5</sup> м/с. Концентрация ионов в плазме ~10<sup>16</sup> см<sup>-3</sup>.

Результаты измерения микротвердости поверхности образцов стали, обработанных одним, тремя и пятью импульсами азотной и углекислой

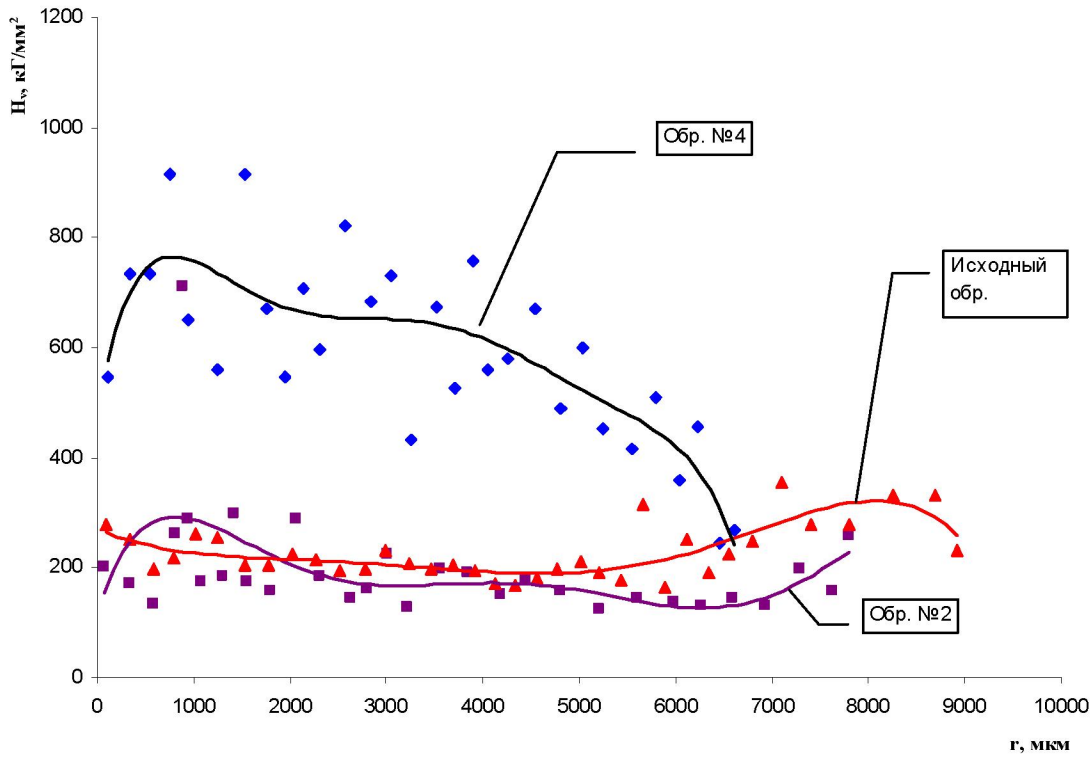
плазмы, представлены на рис. 1, 2. Анализ графиков позволяет сделать вывод, что микротвердость поверхности образцов высокоуглеродистой стали растет с увеличением плотности энергии плазменного потока. В среднем по поверхности микротвердость образцов, обработанных пятью импульсами, газами N<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>, увеличилась по сравнению с исходным более чем в 2 раза, т.е. при импульсной плазменной обработке происходит значительное упрочнение поверхности стали за счет высокоскоростной закалки во время остывания поверхностного образца. При многократной обработке указана суммарная плотность энергии за все импульсы.

Износостойкость измерялась путем определения линейных размеров и массы в результате абразивного износа образцов углеродистой стали до и после обработки. Результаты измерений представлены в виде диаграммы на рис. 3. Относительная износостойкость вычислена по формуле

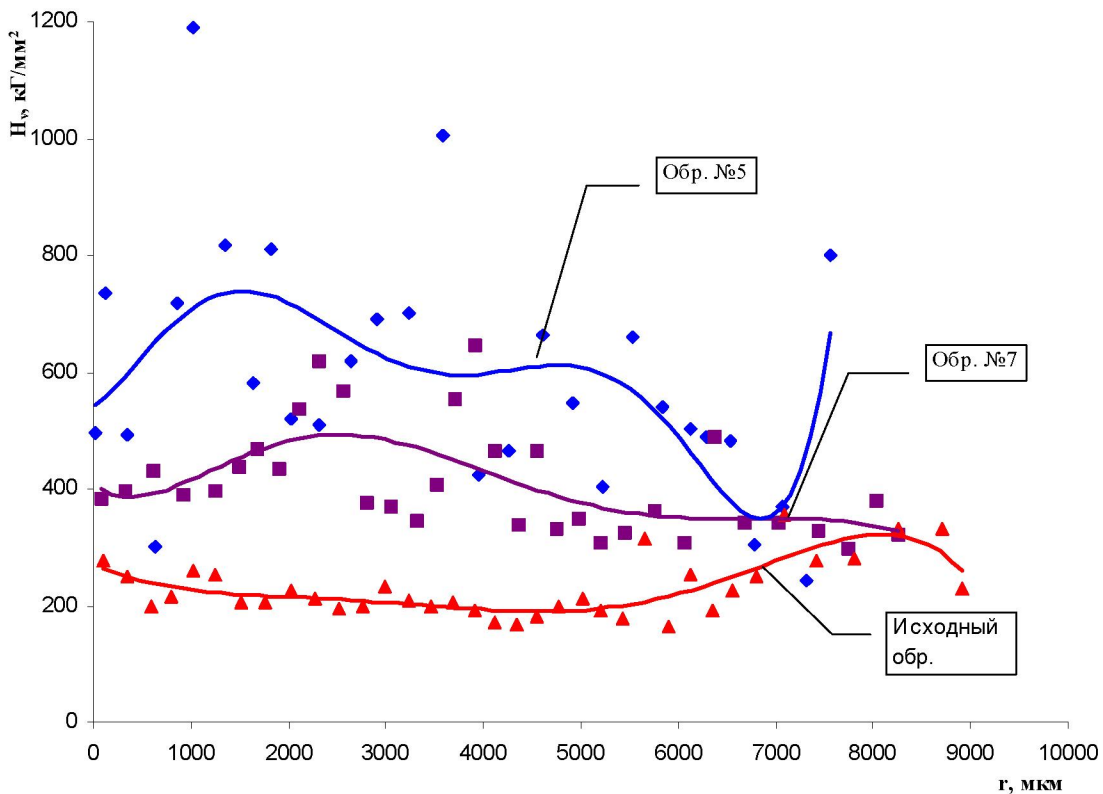
$$e = (\Delta l_{\text{э}} / \Delta l_{\text{и}}) (d_{\text{э}} / d_{\text{и}})^2,$$

где  $\Delta l_{\text{э}}$  – абсолютный линейный износ эталонного образца, мм;  $\Delta l_{\text{и}}$  – абсолютный линейный износ испытуемого образца, мм;  $d_{\text{э}}$  – фактический диаметр эталонного образца, мм;  $d_{\text{и}}$  – фактический диаметр испытуемого образца, мм.

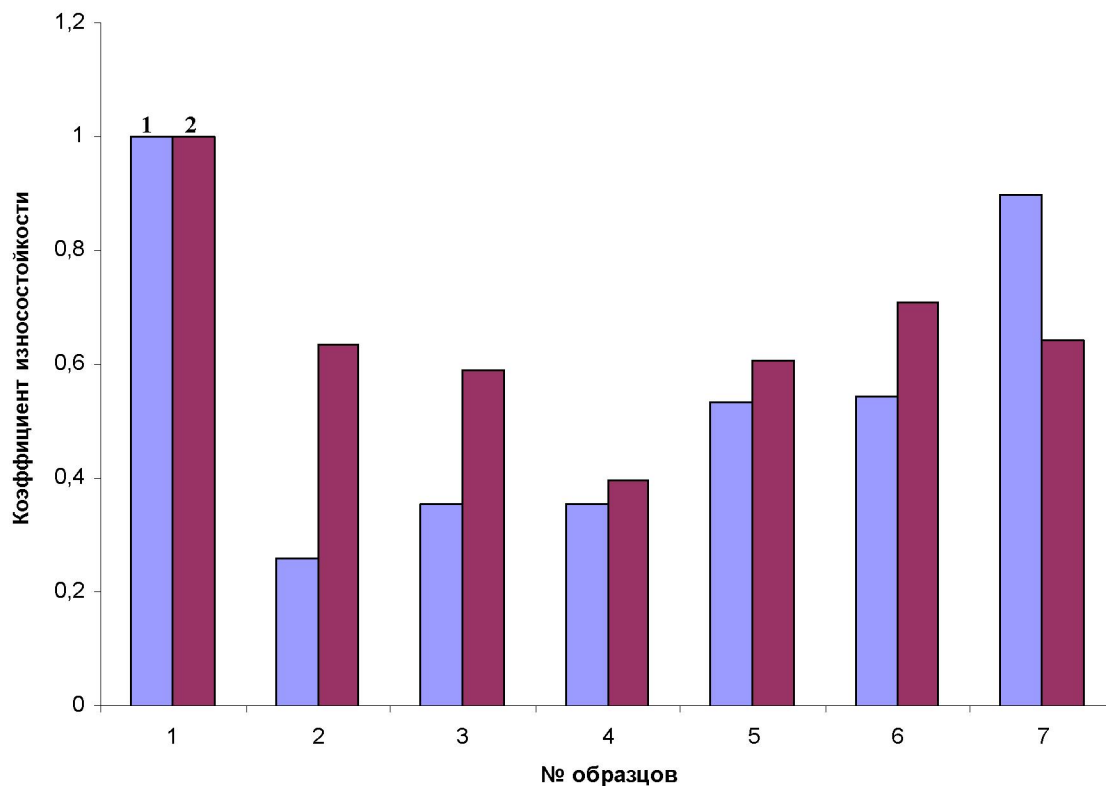
Сравнивая соотношения массовых и линейных коэффициентов, мы можем заключить, что наибольшее увеличение износостойкости наблюдается при полиимпульсной (пятью импульсами) плазменной обработке азотной плазмой, чем образцов, обработанных углекислой плазмой при тех же значениях потоков падающей энергии. Причем многократная обработка азотной плазмой приводит к образованию более равномерного по



**Рис. 1.** График микротвердости исходного и облученных азотом образцов по поверхности. Исходный образец высокоуглеродистой стали. Обр. №2 – N<sub>2</sub>, плотность энергии 40 Дж/см<sup>2</sup>, количество импульсов – 1; обр. №4 – N<sub>2</sub>, плотность энергии 427,5 Дж/см<sup>2</sup>, количество импульсов – 5



**Рис. 2.** График микротвердости исходного и обработанных углекислым газом образцов по поверхности. Исходный образец высокоуглеродистой стали. Обр. №5 – CO<sub>2</sub>, плотность энергии 350 Дж/см<sup>2</sup>, количество импульсов – 5; обр. №7 – CO<sub>2</sub>, плотность энергии 70 Дж/см<sup>2</sup>, количество импульсов – 1



**Рис. 3.** Соотношение линейных (1) и массовых (2) коэффициентов износостойкости:

№1 – исходный; № 2 – 1 импульс, газ азот; № 3 – 3 импульса, газ азот; № 4 – 5 импульсов, газ азот; № 5 – 5 импульсов, углекислый газ; № 6 – 3 импульса, углекислый газ; № 7 – 5 импульсов, углекислый газ

структуре упрочненного поверхностного слоя, что подтверждается и находится в согласии с методами металлографии и определения износостойкости.

Таким образом, плазменная обработка приводит к увеличению микротвердости и, как следствие, возрастанию износостойкости образцов углеродистой стали. Причина изменения этих параметров может заключаться в быстром остывании поверхностного слоя и формировании упрочняющих фаз. Например, в [1] значительное увеличение микротвердости и поверхностной стойкости для сталей различных марок связывается с формированием нитридной фазы при обработке импульсной азотной плазмой. Для установления взаимосвязи результатов трибологических тестов с физическими процессами, происходящими во время обработки, необходимо более детально исследовать структурно-фазовые превращения в данных материалах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Tereshin V.I. et al.* Pulsed plasma accelerators of different gas ions for surface modification // J. Review of scientific in-instruments. American Institute of Physics. 2002. V. 73, N 2.
2. *Жукешов А.М.* Особенности формирования плазменного потока в импульсном ускорителе // Вестник КазГУ. Серия физическая. 2003. №3(14). С. 102-105.

#### Резюме

Жоғарыкөміртекті болат бетіне импульсті плазмалық үдеткіште түзілген плазмалық ағынның әсері қарастырылған. Әр түрлі газдармен өңдеу кезіндегі тозуға төзімділігі мен микроқаттылығының өзгеру заңдылығы зерттелген.

#### Summary

Influence of the plasma streams generated by the pulsed accelerator on a surface of the highcarbonized steel was investigated. Laws of changing of microhardness and wear resistance were investigated at processing of a material by plasma of various gases.

НИИЭТФ, КазНУ им. аль-Фараби.  
г. Алматы

Поступила 15.11.06г.