

О.О. Кузнечик¹, П.Н. Василевский², научные сотрудники

¹Государственное научное учреждение «Институт порошковой металлургии», г. Минск

²Государственное научное учреждение «Физико-технический институт НАН Беларуси», г. Минск

ОБРАБОТКА ИМПУЛЬСНЫМИ ПОТОКАМИ ВОЗДУШНОЙ ПЛАЗМЫ ПОВЕРХНОСТИ КОНСТРУКЦИОННОЙ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Аннотация. Рассмотрена функциональная схема и приведены характеристики импульсно-плазменной установки, генерирующей импульсные потоки воздушно-импульсной плазмы. На основе анализа металлографических исследований структурных изменений в поверхностном слое стали 45 показана возможность использования воздушной импульсно-плазменной обработки конструкционных среднеуглеродистых сталей, используемых в дальнейшем для изготовления быстроизнашиваемых деталей кормоуборочных машин, для повышения прочностных и износостойких их поверхностных слоев с сохранением в приповерхностных слоях пластичности на уровне конструкционных низкоуглеродистых сталей.

Благодаря возникающей при термической обработке модификации, приводящей к формированию закалочных структур в материале конструкционных среднеуглеродистых сталей, эти стали получили широкое применение в машиностроении, приборостроении и других отраслях промышленности для изготовления деталей машин, деталей трубопроводной арматуры и несущих элементов конструкций [1–3]. Появление в конструкционных среднеуглеродистых сталях закалочных структур приводит к повышению их твердости, прочности и износостойкости с одновременным уменьшением пластичности. Учитывая, что для деталей машин, формирующих узлы трения или сопряжения, которые в процессе эксплуатации испытывают пульсирующие переменные нагрузки, требуются материалы, поверхностный слой которых обладает повышенными прочностными и износостойкими свойствами, а приповерхностный – имеет пластичность на уровне конструкционных низкоуглеродистых сталей, поэтому развитие перспективных технологий термической обработки, вызывающей поверхностную модификацию конструкционных среднеуглеродистых сталей, является перспективным направлением для металлургии и сварочного производства [4]. Эта задача может решаться путем развития технологий импульсно-плазменной обработки, в которых в качестве плазмообразующего вещества используется воздух [5, 6].

Для этого необходимо изучить характер возникающей в этих условиях модификации поверхностного слоя конструкционной среднеуглеродистой стали, что и является целью этой работы.

1. Установка воздушной импульсно-плазменной обработки. Использование воздуха в качестве плазмообразующего газа позволяет в конструкции импульсно-плазменной установки (ИПУ) применять такие функциональные элементы (рис. 1), как источник постоянно действующей воздушной плазмы, ускорительную камеру и высоковольтный блок питания и управления (ВБПУ). При этом ВБПУ может содержать такие конструктивные элементы, как электронный модуль управления, обеспечивающий задание количества импульсов, амплитуды их напряжения и частоты следования, а также емкостной накопитель энергии высоковольтных разрядов и ионитронный разрядник [8]. Для ускорения воздушно-плазменных потоков ускорительная камера ИПУ может включать в себя ионизатор, совмещенный с выходом источника постоянно действующей плазмы и соединенный с выходом ВБПУ коаксиальный ускоритель, конструкция которого обеспечивает создание импульсного электромагнитного поля с азимутальной магнитной составляющей [6, 7]. Приведенная на рисунке 1 функциональная схема ИПУ позволяет этой установке задать следующий алгоритм ее работы.

С помощью плазмотрона 1.1 (рис. 1) в рабочую зону ионизатора 3.1 постоянно подается воздушная плазма. При подаче с выхода ВБПУ высоковольтного импульсного напряжения на ускоритель 3.2 в нем возникают

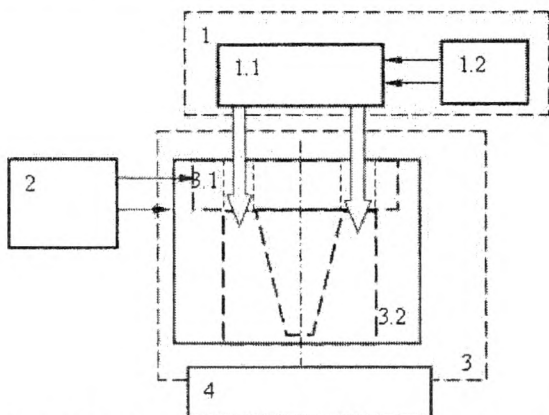


Рисунок 1 – Функциональная схема опытного образца ИПУ:

- 1 – источник постоянно действующей воздушной плазмы: 1.1 – плазмотрон;
- 1.2 – устройство подачи плазмообразующего газа и электрического тока;
- 2 – ВБПУ; 3 – ускорительная камера: 3.1 – ионизатор; 3.2 – ускоритель;
- 4 – обрабатываемая поверхность

высоковольтные разряды, протекающие в воздушной плазме. Благодаря специальной конструкции ускорителя 3.2 плазма разогревается и ускоряется, обеспечивая воздействие на обрабатываемую поверхность 4 импульсных плазменных потоков. С учетом приведенной на рисунке 1 функциональной схемы был разработан и изготовлен опытный образец установки ИПУ (рис. 2) с рабочими характеристиками, приведенными в таблице [4, 5].

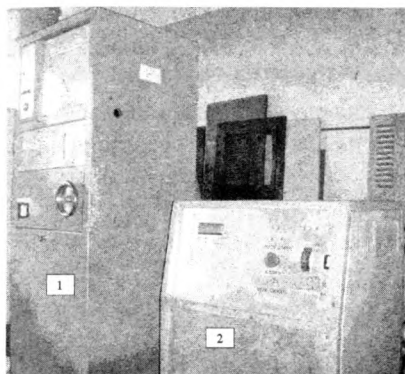


Рисунок 2 – Внешний вид опытного образца ИПУ:

- 1 – звукоизоляционный модуль с ускорительной камерой и источником постоянно действующей плазмы;
- 2 – высоковольтный блок питания и управления

Таблица – Рабочие характеристики опытного образца ИПУ

Характеристики	Значения
Давление плазмообразующего газа на выходе источника постоянно действующей воздушной плазмы, бар	2
Амплитуда напряжения импульсного тока на выходе ВБПУ, кВ	1–3
Емкость накопителя энергии высоковольтных зарядов, мкФ	240–960
Регулируемый диапазон частоты импульсного тока высоковольтных зарядов, Гц	0,1–10
Длительность высоковольтных разрядов, мс	0,5–1,5
Выходной диаметр ускорительной камеры, см	3
Температура воздушно-плазменных потоков на выходе ускорительной камеры, 10^3K	До 10–12
Давление воздушно-плазменных потоков на выходе ускорительной камеры, бар	До 60
Скорость воздушно-плазменных потоков на выходе ускорительной камеры, км/с	До 1–4
Уровень шума, дБА	Не более 110
Потребляемая мощность ИПУ от сети переменного тока частотой 50 Гц, кВт	До 25

2. Оборудование, методика исследования и анализ результатов обработки импульсными потоками воздушной плазмы поверхности конструкционной среднеуглеродистой стали. При проведении исследований использовались стальные образцы с полированной поверхностью. В качестве модельного материала, из которого изготавливались образцы, была выбрана сталь 45 (ГОСТ 1050-88). Обработка импульсными потоками воздушной плазмы (рис. 3) осуществлялась в течение четырех секунд с частотой 2 Гц. После обработки импульсными потоками воздушной плазмы поверхность исследуемых образцов приобрела темно-синий оттенок. Обработка импульсными потоками воздушной плазмы осуществлялась с помощью опытного образца ИПУ (см. рис. 2).

Структура поверхностного слоя исследуемой стали изучалась на световом микроскопе типа МИМ-7 и на электронном сканирующем микроскопе типа «CAMSCAN». Результаты металлографических исследований, полученные с использованием методики микроскопического исследования металлов и сплавов, представлены на рисунках 4 и 5 [9].

Измерение с помощью микротвердомера типа МПТ-3 микротвердости поверхностного слоя на глубину до 1000 мкм показало, что у исходных образцов этот показатель по мере удаления от поверхности в среднем монотонно уменьшался от 2,0 до 1,7 ГПа. После обработки импульсными потоками воздушной плазмы характер распределения микротвердости практически не изменился и отличался от исходных лишь тем, что микротвердость вблизи поверхности увеличилась в 2,5–3,0 раза (5,5–6,0 ГПа), в то время как на глубине 1000 мкм он остался практически неизменным (1,8 ГПа).

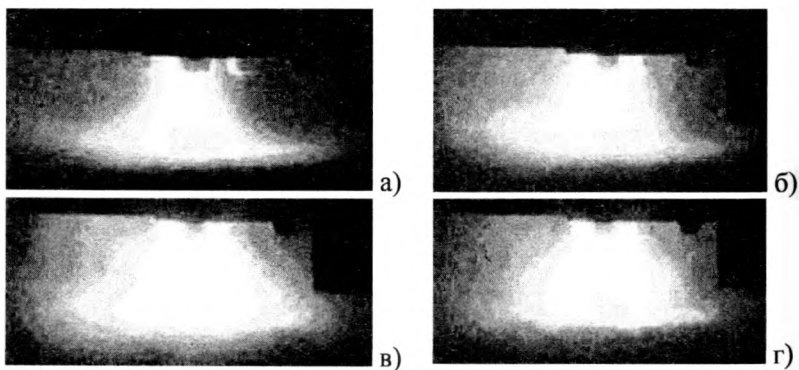
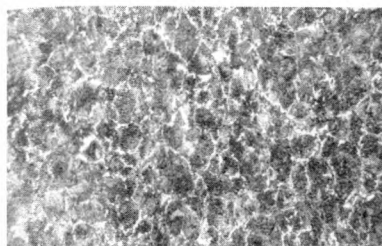
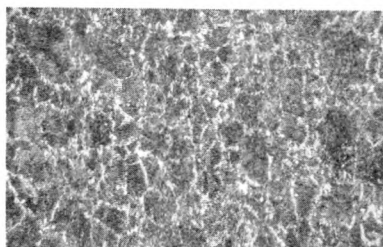


Рисунок 3 – Вид импульсного потока воздушной плазмы в конце первой (а), второй (б), третьей (в) и четвертой (г) секунды



X100

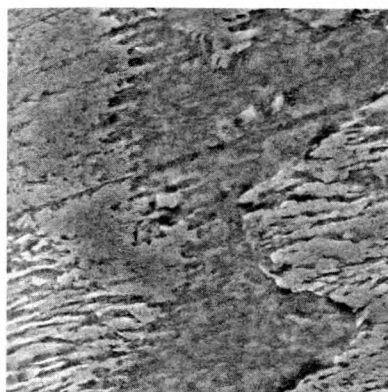
а)



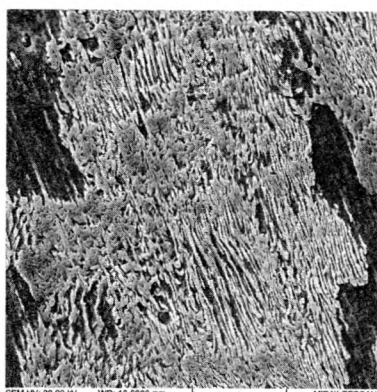
X100

б)

Рисунок 4 – Структура стали 45 в световом микроскопе:
а – исходная структура; б – структура после импульсной обработки потоками воздушной плазмы



а)



б)

Рисунок 5 – Структура стали 45 в электронном сканирующем микроскопе:
а – исходная структура; б – структура после импульсной обработки потоками воздушной плазмы

Заключение. На основе анализа полученных результатов металлографических исследований можно сделать следующие выводы:

1. На определенных режимах импульсной обработки потоками воздушной плазмы конструкционных среднелегированных сталей в тонких поверхностных слоях из-за быстропротекающих высокотемпературных процессов могут возникать мартенситные превращения, увеличивающие микротвердость поверхности в 2,5–3,0 раза, что способствует повышению ее прочностных и износостойких свойств.

2. На этих режимах обработки структура приповерхностных слоев конструкционных среднелегированных сталей остается практически

неизменной, что обеспечивает им пластичность на уровне конструктивных низкоуглеродистых сталей.

Список использованных источников

1. Ассонов, А.Д. Технология термической обработки деталей машин / А.Д. Ассонов. – М: Машиностроение, 1969. – 263 с.
2. Зуев, В.М. Термическая обработка металлов / В.М. Зуев. – М.: Высшая школа, 1976. – 344 с.
3. Шепеляковский, К.З. Упрочнение деталей машин поверхностной закалкой при индукционном нагреве / К.З. Шепеляковский. – М.: Машиностроение, 1972. – 288 с.
4. Установка для формирования импульсной плазмы / Д.В. Минько [и др.] // Сварка и родственные технологии: материалы докл. Междунар. симп., Минск, 26 марта 2008 г. / редкол.: А.Ф. Ильющенко [и др.]. – Минск, 2008. – С. 71–73.
5. Импульсно-плазменная обработка поверхности инструмента / Д.В. Минько [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: III Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 15–17 октября 2008 г.: сб. материалов: в 4-х кн. / Высокоэнергетические технологии получения и упрочнения материалов деталей машин; редкол.: С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2008. – Кн. 2. – С. 155–161.
6. Патент РБ №3691. Импульсно-периодический плазмотрон. – 2007 г.
7. Патент РБ № 10941. Ускоритель плазмы. – 2008 г.
8. Патент РБ № 7651. Высоковольтный импульсно-периодический источник питания. – 2005 г.
9. Жарков, В.Я. Материаловедение. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Микроанализ металлов и сплавов: методические указания / В.Я. Жарков, В.П. Мельников. – 3-е изд перераб. и доп. – Брянск: БГТУ, 2007. – 15 с.
10. Гуляев, А.П. Металловедение: учебник для вузов / А.П. Гуляев. – 6-е изд. перераб. и доп. / А.П. Гуляев. – М: Металлургия, 1986. – 544 с.
11. Лахтин, Ю.М. Материаловедение: учебник для вузов / Ю.М. Лахтин. – 2-ое изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1980. – 493 с.

Поступила 09.04.2015