

90 лет БНТУ

The working characteristics, algorithm of generation of air-impulse plasma, structural scheme of impulse-plasma installation are given. The different phases of impulse processing of steel 45 surface with air plasma are given.

О. О. КУЗНЕЧИК, Д. В. МИНЬКО, ГНУ «Институт порошковой металлургии»,
К. Е. БЕЛЯВИН, БНТУ

УДК 621.373.826:621.762

ИМПУЛЬСНАЯ ОБРАБОТКА ВОЗДУШНОЙ ПЛАЗМОЙ ПОВЕРХНОСТИ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Введение. Среднеуглеродистые стали благодаря способности изменять при термоциклической обработке свое внутреннее строение (модификации), при котором могут возникать закалочные структуры [1,2], способствующие повышению у этих сталей физико-механических и функциональных свойств, широко применяются в машиностроении, приборостроении и других отраслях промышленности для изготовления деталей машин различного назначения [1–3]. В зависимости от способа термоциклической обработки модификация сталей может быть объемной и поверхностной. При этом возможны такие режимы обработки, при которых поверхностные закалочные структуры среднеуглеродистой стали имеют микротвердость, превышающую 1 ГПа, а приповерхностные сохраняют пластичность на уровне низкоуглеродистых сталей [4]. Изготовленные из модифицированной таким образом среднеуглеродистой стали детали являются наиболее востребованными в механизмах и конструкционных элементах машин, имеющих узлы трения или сопряжения, через которые в условиях ограниченной смазки и абразивного износа передаются повышенные потоки механической и тепловой энергии [5]. Развитие технологий термоциклической обработки, позволяющих получать именно такую модификацию среднеуглеродистых сталей, является актуальной задачей, решать которую можно с помощью импульсной обработки воздушной плазмой [6, 7]. По сравнению с аналогичными способами [8, 9] импульсная обработка воздушной плазмой для формирования импульсно-плазменных потоков не требует взрывоопасных газовых смесей и детонационных камер [8] или герметизированного оборудования, поддерживающего в зоне обработки разреженную атмосферу плазмообразующего газа [9]. Развитию технологий термоциклической обработ-

ки, использующих потоки воздушной импульсной плазмы, будет способствовать определение режимов импульсной обработки воздушной плазмой, которые могут упрочнять рабочие поверхности деталей машин, изготавливаемых из среднеуглеродистых марок стали.

Структурная схема и рабочие характеристики импульсно-плазменной установки. Использование воздуха в качестве плазмообразующего вещества позволяет [6,7] в конструкции импульсно-плазменной установки (ИПУ) применять следующие структурные элементы (рис. 1): источник непрерывно действующей воздушной плазмы, ускорительную камеру, а также высоковольтный блок питания и управления (ВБПУ), который [10] обеспечивает генерацию импульсного тока с регулируемым количеством, частотой и амплитудой высоковольтного напряжения импульсов. Для ускорения воздушно-плазменных потоков ускорительная камера ИПУ [11,12] может включать в себя

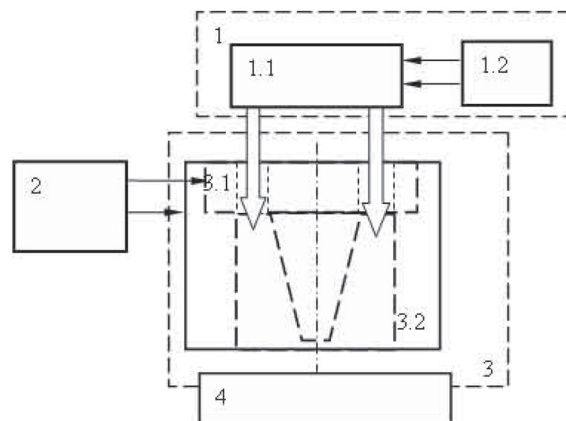


Рис. 1. Структурная схема импульсно-плазменной установки: 1 – источник непрерывно действующей воздушной плазмы (1.1 – плазматрон; 1.2 – устройство подачи воздуха и электрического тока); 2 – ВБПУ; 3 – ускорительная камера (3.1 – ионизатор; 3.2 – ускоритель); 4 – обрабатываемая поверхность

Рабочие характеристики ИПУ

Характеристики	Значения
Давление в потоке непрерывно действующей воздушной плазмы на входе ускорительной камеры, МПа	0,2
Амплитуда напряжения импульсного тока на выходе ВБПУ, кВ	1 – 3
Емкость накопителя энергии высоковольтных зарядов, мкФ	240 – 960
Диапазон регулировки частоты следования импульсов тока высоковольтных зарядов, Гц	1 – 10
Длительность высоковольтных разрядов, мс	0,5 – 1,5
Выходной диаметр ускорительной камеры, см	3
Температура импульсной плазмы на выходе ускорительной камеры, 10 ³ К	10–12
Давление потока импульсной плазмы на выходе ускорительной камеры, МПа	до 6,5
Скорость потоков импульсной плазмы на выходе ускорительной камеры, км/с	до 1–4
Максимальная амплитуда импульсного шума, дБА	Не более 110
Потребляемая мощность ИПУ от сети переменного тока промышленной (50–60 Гц) частоты, кВт	до 25

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.

Структурная схема (рис. 1) позволяет ИПУ реализовать следующий алгоритм генерации импульсной плазмы. С помощью плазмотрона 1.1 в рабочую зону ионизатора 3.1 в виде непрерывно действующих потоков плазмы подается воздух. Это при появлении на выходе ВБПУ высоковольтного импульсного напряжения обеспечивает возникновение в зоне ионизатора 3.1 высоковольтных разрядов, которые на начальном этапе протекают через выходящие из плазмотрона 1.1 потоки воздушной плазмы. Благодаря конструкции ускорительной камеры [11, 12] возникающее от высоковольтных разрядов импульсное магнитное поле формирует и разгоняет в ускорителе 3.2 импульсные потоки воздушной

плазмы, которые затем выносятся на обрабатываемую поверхность 4.

В таблице приведены рабочие характеристики ИПУ, изготовленной согласно приведенной на рис. 1 структурной схеме.

Оборудование, методика исследования и анализ результатов воздействия потоков воздушной импульсной плазмы на поверхность среднеуглеродистой стали. При проведении исследований использовали стальные образцы с полированной поверхностью. В качестве модельного материала, из которого изготавливали образцы, была выбрана сталь марки Ст45 (ГОСТ 1050–88). Обработку потоками воздушной импульсной плазмы (рис. 2) осуществляли с помощью ИПУ с рабочими характеристиками, приведенными в таблице. Длительность обработки импульсными потоками воздушной плазмы удельной мощностью 10⁵–10⁶ Вт/м² не превышала 4 с. После этой обработки поверхность исследуемых образцов приобрела темно-серый оттенок.

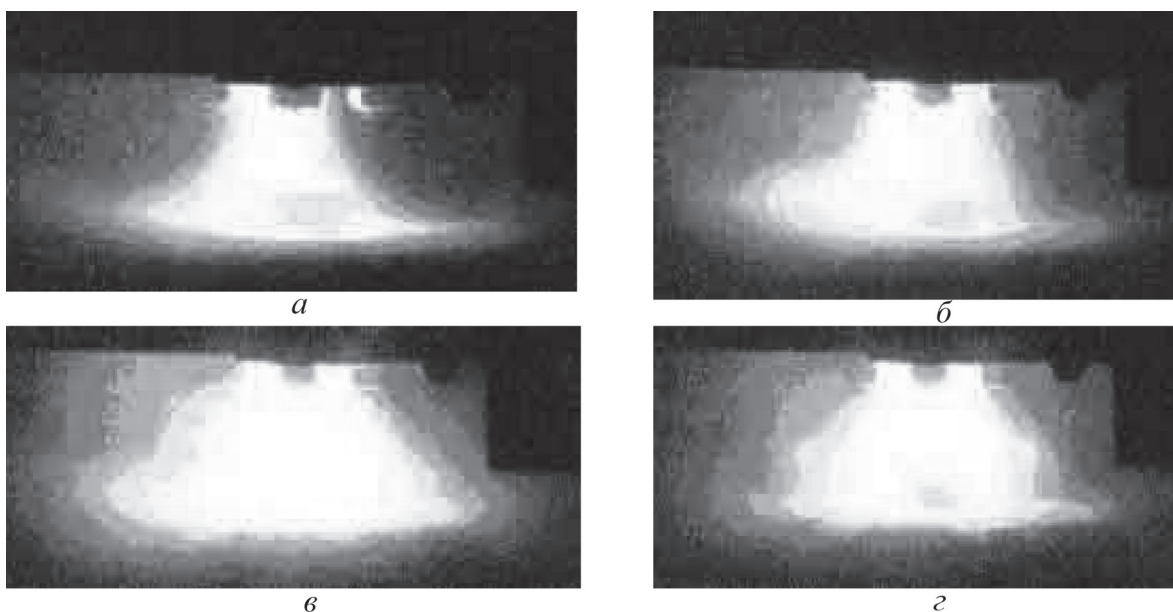


Рис. 2. Различные фазы взаимодействия потока воздушной импульсной плазмы со стальной поверхностью

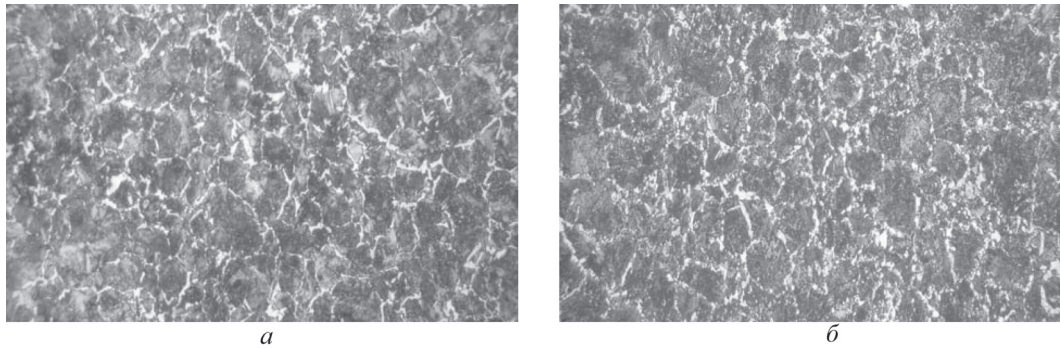


Рис. 3. Структура поверхности стали в световом микроскопе: *a* – исходная структура; *б* – структура после импульсной обработки потоками воздушной плазмы. $\times 100$

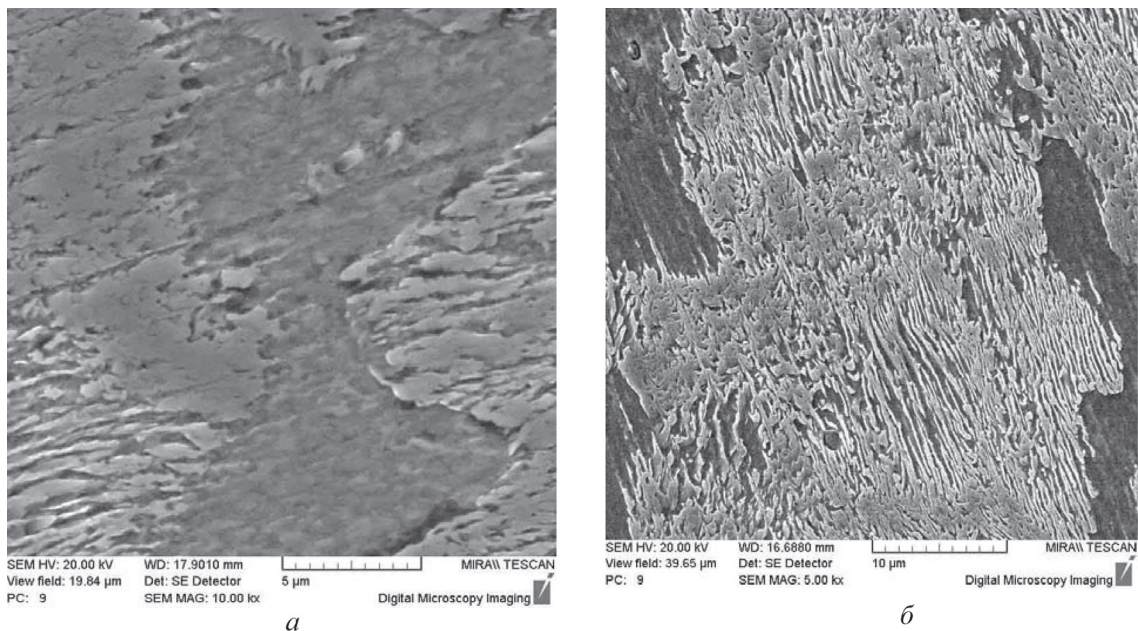


Рис. 4. Структура поверхности стали в электронном сканирующем микроскопе: *a* – исходная структура; *б* – структура после импульсной обработки потоками воздушной плазмы

Структуру поверхностного обработанного слоя исследуемой стали изучали на световом микроскопе типа МИМ-7 и электронном сканирующем микроскопе типа «CAMSCAN». Результаты металлографических исследований, полученные с использованием методики микроскопического исследования металлов и сплавов [13,14], приведены на рис. 3, 4.

Результаты измерения микротвердомером МПТ-3 показали, что микротвердость в тонком поверхностном слое исходных образцов стали по мере удаления от поверхности монотонно снижается с 2,0 до 1,7 ГПа (глубина удаления 1000 мкм). После импульсной обработки воздушной плазмой микротвердость тонкого поверхностного слоя стали возросла в 2,5–3,0 раза (до 5,5–6,0 ГПа), в то время, как микротвердость на глубине 1000 мкм осталась практически неизменной (1,8 ГПа). Изменение микротвердости в глубину обрабатываемого слоя при этом носит характер градиентного

понижения, который обеспечивает относительно плавный переход от слоев, имеющих относительно высокую твердость, к слоям, сохраняющим свою пластичность на уровне низкоуглеродистых сталей.

На основе анализа результатов металлографических исследований можно сделать следующие выводы.

1. На установленном режиме импульсной обработки, допускающих регулировку частоты в пределах 1 – 10 Гц потоков с давлением до 6,5 МПа воздушной плазмы удельной мощностью 10^5 – 10^6 Вт/м², в тонких поверхностных слоях среднелегированных сталей из-за быстротекущих высокотемпературных процессов могут возникать мартенситные превращения, увеличивающие микротвердость поверхности в 2,5–3,0 раза.

2. Установленный режим импульсной обработки обеспечивает градиентное изменение микротвердости по глубине обрабатываемого слоя, при

котором обеспечивается относительно плавный переход от слоев, имеющих повышенную твердость, к слоям, сохраняющим свою пластичность на уровне низкоуглеродистых сталей.

3. Рекомендовано использовать установленный режим импульсной обработки для упрочнения рабочих поверхностей деталей машин, изготавливаемых из среднеуглеродистых марок стали.

Литература

1. А с с о н о в А. Д. Технология термической обработки деталей машин. М.: Машиностроение, 1969.
2. З у е в В. М. Термическая обработка металлов. М.: Высш. шк., 1976.
3. Ш е п е л я к о в с к и й К. З. Упрочнение деталей машин поверхностной закалкой при индукционном нагреве. М.: Машиностроение, 1972.
4. Т а р а с о в В. В., М а л ы ш к о С. Б. Материаловедение: учеб. пособ. Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2008.
5. С у с и н А. А. Химико-термическое упрочнение высоконапряженных деталей. Мн.: Беларуская наука, 1999.
6. М и н ь к о Д. В. и др. Установка для формирования импульсной плазмы // Сварка и родственные технологии: Материалы докл. Междунар. симпоз., Мн., 26 марта 2008. С. 71–73.
7. М и н ь к о Д. В. и др. Импульсно-плазменная обработка поверхности инструмента // 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. Мн.: ФТИ НАН Беларуси, 2008. С. 155–161.
8. Импульсно-плазменное упрочнение инструмента / М. Л. Жадкевич, Ю. Н. Тюрин, О. В. Колисниченко // Оборудование и инструмент. 2004. № 04. С. 40–43.
9. Влияние импульсной плазменной обработки на коррозионную стойкость сталей / В. Л. Якушин, Б. А. Калини, В. И. Польский, П. С. Джумаев // Научная сессия МИФИ-2007. Т. 9. С. 51–53.
10. Высоковольтный импульсно-периодический источник питания: Пат. РБ № 7651. 2005.
11. Импульсно-периодический плазмотрон: Пат. РБ № 3691. 2007.
12. Ускоритель плазмы: Пат. РБ № 10941. 2008.
13. Материаловедение. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Микроанализ металлов и сплавов: Метод. указания / В. Я. Жарков, В. П. Мельников. Изд. 3-е, перераб. и доп. Брянск: БГТУ, 2007.
14. Г у л я е в А. П. Материаловедение: учеб. для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1986.