

03;04;05;12

Особенности электролитно-плазменной закалки (ЭПЗ)

© Ю.Н. Тюрин,¹ А.Д. Погребняк²¹ Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина² Сумской институт модификации поверхности, 40030 Сумы, Украина

(Поступило в Редакцию 9 октября 2000 г. В окончательной редакции 30 января 2002 г.)

Приведен анализ процессов в электролите и плазменном слое, который образуется между жидким электродом-анодом и твердой поверхностью изделия. В результате обоснован метод управления плотностью мощности нагрева поверхности за счет периодического изменения времени подключения повышенного электрического напряжения и его величины. Это позволяет управлять скоростью нагрева и охлаждения поверхности изделия в диапазоне от 20 до 500°С/с и соответственно нагревать поверхностные слои на глубину 0.1...10 мм.

Вот уже 50 лет известен электролитно-плазменный метод закалки [1]. Обрабатываемое изделие погружается в электролит. В качестве электролита используют водные растворы солей. При пропускании электрического тока через электролит около катода, которым служит обрабатываемое изделие, образуется плазма [1–5]. Преобразование электрической энергии в тепло идет в основном на поверхности изделия-катода. Экспериментально установлено, что основные затраты энергии идут на нагрев поверхности изделия и образование плазменного слоя, только ~15% составляют потери [6]. В плазменном слое возникают разряды [1–5]. Под действием изменявшегося давления в месте разряда, поверхность жидкого электрода-анода колеблется. В результате величина зазора между поверхностями жидкого электрода и твердого тела-катода меняется. Напряженность электрического поля в самом электролите не высокая (до 80...200 В/м), но в слое плазмы напряженность может достигать 10^4 – 10^6 В/м (рис. 1). Экспериментально установлено, что электрическое напряжение в слое электролита толщиной 300 мкм не более 25 В. В плазменном слое толщиной 0.1 ÷ 3 мм напряжение достигает 300 В.

В зависимости от величины напряжения между анодом и катодом можно проследить пять характерных режимов нагрева поверхностей жидкого электрода и твердого тела-катода [4].

В первом режиме электрическое напряжение составляет $U = 60 \dots 120$ В. Электролит (жидкий электрод) омывает поверхность холодного катода. Температура поверхности катода меньше температуры кипения электролита. Электрическая энергия затрачивается в основном на нагрев электролита. Второй режим ($U = 80 \dots 160$ В) характеризуется повышением температуры поверхности катода выше температуры кипения электролита. На катоде образуется парогазовый слой. В третьем режиме $U = 120 \dots 200$ В. Наблюдается локальный перегрев парогазового слоя, прилегающего к поверхности твердого тела, вследствие возникновения электрических разрядов. Колебание поверхности электролита обеспечивает

локальное повышение напряженности электрического поля до 10^6 В/м, образуются микроархивы, чередующиеся охлаждением поверхности катода электролитом. В четвертом режиме $U = 180 \dots 260$ В. Через 2...10 с между поверхностями катода и электролита формируется устойчивый плазменный слой, который имеет переменное сечение. Наблюдается стабильное свечение плазмы в прикатодной области.

Дальнейшее повышение напряжения (до 240...320 В) обеспечивает образование плазменного слоя практически мгновенно, за 0.1...0.5 с. Наблюдается интенсивное свечение плазменного слоя. Скорость нагрева поверхности может достигать 500°С/с.

Предлагается [7] использовать комбинации различных режимов нагрева поверхностей жидкого электрода и металлического изделия. На рис. 2 приведены результаты измерения температуры поверхности при характерных для пяти режимов нагрева напряжениях между электродами. При включении электрического напряжения 320 В (кривая 1) идет быстрый нагрев поверхности образца (пятый режим). Скорость нагрева поверхности достигает 150°С/с. Плотность электрического тока достигает $8 \dots 9$ А/см², практически через 10...15 с, начинается

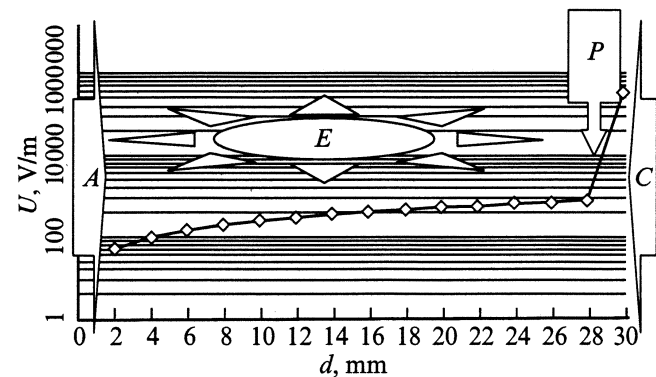


Рис. 1. График изменения напряженности электрического поля в электролите (E) и плазменном слое (P) между катодом-поверхностью (C) изделия и металлическим анодом (A).

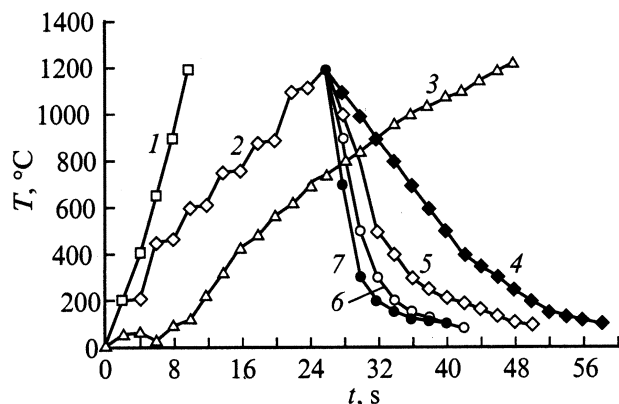


Рис. 2. Температуры поверхности катода в зависимости от времени нагрева (1–3) и охлаждения (4–7) при напряжении 320 (1); 200, 320, 30 (2); 220 В (3) и пониженном при охлаждении 60 (4), 40 (5), 20 (6), 0 В (7).

плавление поверхностного слоя. Периодический переход из пятого режима в третий режим нагрева, или периодическое переключение высокого электрического напряжения (320 В) на низкое (200 В), характеризуется стабильным нагревом со средней скоростью (до 50°С/с). Средняя плотность электрического тока 6...7 А/см². Время нагрева можно установить таким, чтобы без плавления поверхности получить достаточно толстые закаленные слои (до 10 мм).

Нагрев при напряжении 200 В характеризуется неустойчивостью в начале процесса. Время неустойчивости достигает 12 с. Плотность электрического тока изменяется скачками от 0 до 50 А/см². И только после образования парогазового слоя с относительно небольшой электропроводностью $\sigma = 0.5 \dots 0.7 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ плотность тока падает до номинального значения, равного $J = 5 \dots 6 \text{ A/cm}^2$. Повышение и понижение напряжения сопровождаются чередованием высокой плотности мощности нагрева поверхности с низкой и в результате можно получить среднюю скорость нагрева слоя изделия 30...60°С/с (рис. 2, кривая 2).

Периодическое изменение напряжения электрического тока соответственно изменяет среднюю плотность мощности нагрева поверхности (от $1 \cdot 10^3$ до $1 \cdot 10^4 \text{ W/cm}^2$), что обеспечивает управление электролитно-плазменным нагревом и образованием закалочных структур в слоях, которые имеют толщину 0.1...1 мм. В широких пределах можно изменять скорость охлаждения подключением электрического тока при охлаждении поверхности изделия (рис. 2, кривые 4–7).

Возможность управления средней плотностью мощности позволит использовать электролитно-плазменную обработку с технологиях очистки, плавления и пайки [1–4,8,9].

Работа частично финансировалась по проектам УТНЦ (№ 1472) и Министерства образования и науки Украины (2М/0145-2001).

Список литературы

- [1] Ясногородский Я.З. Автоматический нагрев в электролите. М.: Оборонгиз, 1947. 24 с.
- [2] Yerokhin A.L., Nie X., Leyland A., Matthews A., Dowe S.J. // Surface and Coating Technology. 1999. N 122. P. 73–93.
- [3] Никитин В.Н., Еретнев К.И., Артемьев А.В. // Электрон. обраб. материалов. 1983. № 2. С. 35–37.
- [4] Словецкий Д.И., Терентьев С.Д., Плеханов В.Г. // ТВТ. 1986. № 2. Т. 24. С. 353–363.
- [5] Черненко В.И., Снежко Л.А., Папанова И.И., Литовченко К.И. Теория и технология анодных процессов при высоких напряжениях. Киев: Наукова думка, 1995. 196 с.
- [6] Остроумов Г.А. Взаимодействие электрических и гидродинамических полей. М.: Наука, 1979. 310 с.
- [7] Tyurin Yu.N., Pogrebnyak A.D. // Surface and Coatings Technology. 2001. N 142–144. P. 293–299.
- [8] Райзер Ю.П. Физика газового разряда, 1992. 535 с.
- [9] Еретнев К.Н., Лебедев С.В. Процессы нагрева и очистки поверхности металлов в электролите и их практическое использование. Липецк, 1997. 150 с.