

Разработка импульсной электролитно-плазменной технологии размерной и финишной обработки металлических материалов

Королёв А.Ю., Нисс В.С., Паршутто А.Э., Сорока Е.В.
Белорусский национальный технический университет

Одним из прогрессивных методов повышения качества поверхности металлических изделий является электролитно-плазменная обработка (ЭПО), которая широко используется для полирования, удаления заусенцев и очистки изделий медицинского назначения, декоративных изделий, деталей машин и приборов, а также с целью с повышения физико-механических и химических свойств поверхности, подготовки поверхности для нанесения покрытий. Основным недостатком метода является высокая энергоёмкость. Плотность мощности в процессе обработки может достигать 300 Вт/см^2 , поэтому метод можно отнести в его классическом виде к энергоёмкому производству [1].

Для снижения энергоёмкости и повышения эффективности процесса ЭПО металлических материалов при сохранении высокой интенсивности, качества обработки и экологической безопасности нами предложен принципиально новый импульсный метод (импульсная ЭПО), совмещающий преимущества как электрохимической обработки, так и ЭПО. Метод реализуется за счет совмещения в пределах одного импульса миллисекундной длительности амплитудой по напряжению 90 В и более двух чередующихся стадий: электрохимической и электролитно-плазменной (рис. 1). На осциллограмме (рис. 1а) видно, что во время электрохимической стадии при увеличении напряжения происходит значительный рост силы тока, а при достижении определенного значения напряжения возникает электролитно-плазменная стадия, во время которой протекает высокочастотный ток намного меньшей амплитуды.

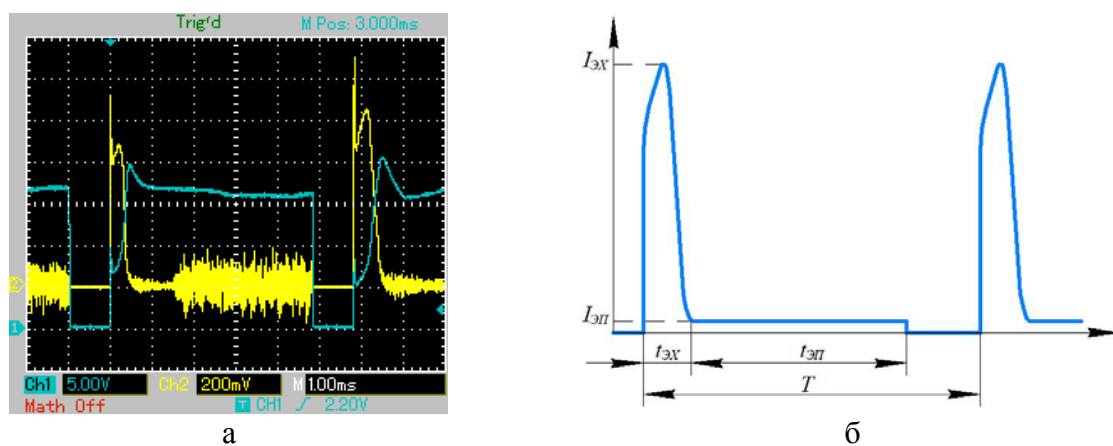


Рисунок 1- Импульсные характеристики процесса: а – осциллограммы напряжения (зеленая линия) и тока (желтая линия); б – диаграмма импульсов тока

На рис. 1б представлена диаграмма изменения силы тока в пределах одного импульса с периодом следования T . Высокая эффективность достигается за счет основного интенсивного съема металла при реализации электрохимической стадии длительностью $t_{ЭХ}$ с высоким значением силы тока $I_{ЭХ}$ и оптимизации продолжительности электролитно-плазменной стадии $t_{ЭП}$, при которой обеспечивается высокое качество поверхности. Уменьшение периода следования импульсов T при снижении их длительности позволяет увеличить электрохимическую составляющую процесса и обеспечить более интенсивный съем металла, удалить значительные неровности поверхности. Повышение периода следования импульсов T при одновременном повышении их длительности позволяет увеличить электролитно-плазменную составляющую процесса и достигнуть низкой шероховатости при общем снижении энергоёмкости процесса.

Период следования импульсов T включает длительности электрохимической стадии $t_{эx}$, электролитно-плазменной стадии $t_{эп}$ и паузы между импульсами. Длительность импульса t состоит из длительностей $t_{эx}$ и $t_{эп}$. Во время электрохимической стадии происходит основной съем металла, поэтому ее длительность оказывает наиболее существенное влияние на производительность импульсного процесса. Плотность тока в коротком высокоэнергетическом пике электрохимической стадии ($t_{эx}$) достигает сверхвысоких значений, на порядок превышающих соответствующие значения для существующих электрохимических процессов, за счет чего обеспечивается большой съем металла. Так, с повышением напряжения импульса с 90 В до 240–300 В происходит пропорциональное увеличение плотности тока с 100–130 А/см² до 330–400 А/см² (концентрация электролита – 20 %, длительность импульса – 5 мс).

Так же, как и при традиционной ЭПО с применением постоянного тока, в импульсном процессе ЭПО величина напряжения подаваемого импульса и температура электролита оказывают определяющее влияние на условия формирования парогазовой оболочки, то есть на изменение длительности электрохимической стадии. Чем выше напряжение импульса и температура электролита, тем меньше энергии и времени требуется для формирования парогазовой оболочки вокруг образца и возникновения электролитно-плазменной стадии, соответственно, тем меньше продолжительность электрохимической стадии. Зависимости длительности электрохимической стадии от напряжения обработки при различных значениях температуры электролита (концентрация электролита – 20 %, длительность импульса – 5 мс) представлены на рис. 2. При обработке в холодном электролите (30 °С) при напряжении 90 В электрохимическая стадия занимает всю длительность импульса – 5 мс. Электролитно-плазменная стадия возникает при повышении напряжения импульса до 120 В ($t_{эx} = 3,75$ мс). С дальнейшим повышением напряжения до 300 В длительность электрохимической стадии уменьшается до 2 мс. При значениях температуры электролита 60 °С и 90 °С электролитно-плазменная стадия возникает уже при напряжении импульса 90 В. Причем в случае обработки в электролите с температурой 90 °С длительность электрохимической стадии составляет незначительную часть длительности всего импульса (8 %) и уменьшается с 0,4 до 0,18 мс при изменении напряжения с 90 до 240 В.

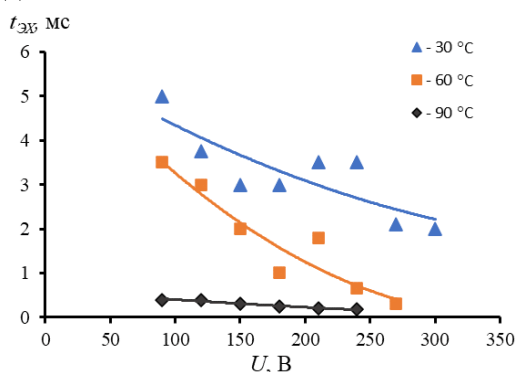


Рисунок 2- Влияние напряжения на длительность электрохимической стадии процесса при различных значениях температуры электролита

Для оценки эффективности использования импульсного процесса ЭПО вместо традиционного ЭПО при постоянном напряжении выполнен расчет энергозатрат, необходимых съема равного слоя металла с поверхности образца. Обработка образцов площадью 0,42 см² с применением двух методов выполнялась с длительностью, необходимой для уменьшения их диаметра с 1,80 до 1,70 мм (съем 100 мкм). ЭПО выполнялась при следующих параметрах: напряжение – 160 В, концентрация электролита – 4 %, температура электролита – 80 °С. Импульсная ЭПО выполнялась при тех же параметрах, при этом длительность импульса составляла 5 мс с периодом следования 6 мс. Время, необходимое для уменьшения диаметра образца на 100 мкм, составило: для ЭПО с применением постоянного тока – 769 с (скорость съема – 7,8 мкм/мин), для импульсного ЭПО – 150 с (40,0 мкм/мин). Таким образом, скорость съема в

импульсном процессе ЭПО более, чем в пять раз превысила скорость съема в традиционном процессе ЭПО с применением постоянного тока.

Расчет энергии, потребляемой в импульсе, показывает, что в высокоэнергетическом пике электрохимической стадии, когда происходит основной съем металла за счет высокой плотности тока, мощность достигала значения 1600 Вт. Мощность в электролитно-плазменной стадии составляла 34 Вт (рис. 3а). Суммарные затраты энергии, необходимой для уменьшения диаметра образца на 100 мкм, в импульсном процессе на 19 % меньше, чем в традиционном процессе при постоянном напряжении. При этом в структуре энергозатрат импульсного процесса 83 % занимает электрохимическая стадия, обеспечивающая высокую производительность процесса (рис. 3б).

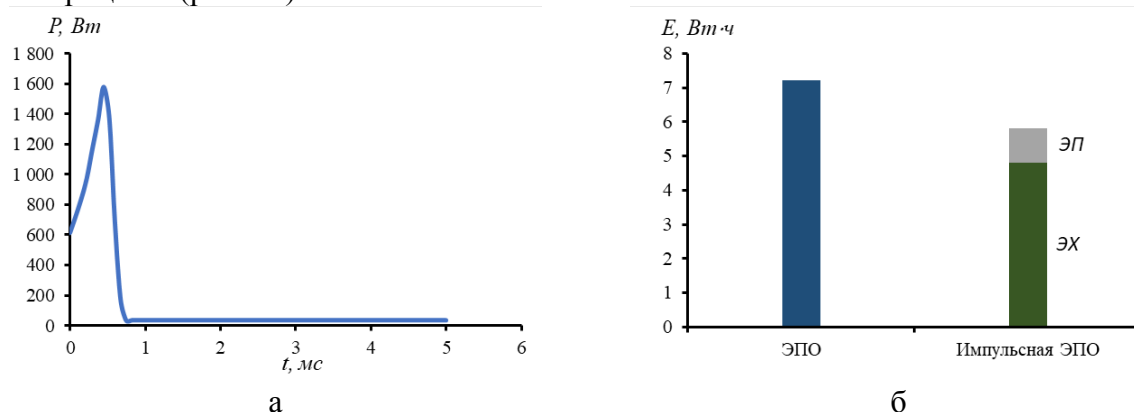


Рисунок 3- Результаты расчета эффективности использования импульсного процесса ЭПО: а – изменение мощности потребляемой мощности во времени импульса; затраты электроэнергии в импульсном процессе ЭПО и традиционном ЭПО при постоянном напряжении

Примеры изделий из коррозионностойкой стали после полирования в импульсном процессе ЭПО представлены на рис. 4.



Рисунок 4- Образцы изделий из коррозионностойкой стали после полирования в импульсном процессе ЭПО

Литература

1. Электролитно-плазменная обработка при нестационарных режимах в условиях высокоградиентного электрического поля / Ю. Г. Алексеев [и др.] // Наука и техника. 2017. Т. 16, № 5. С. 391–399. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2017-16-5-391-399>.
2. Технология полирования с применением комплексного электрохимического и электролитно-плазменного воздействия в управляемых импульсных режимах / А.Ю. Королёв, В.С. Нисс, А.Э. Паршутто // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: мат. Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 25–26 апреля 2019 г. – Могилев: БРУ, 2019. – С. 51–52.