

УДК 621.9.048.4

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЗАДАЧИ О ПЕРЕМЕЩЕНИИ ГРАНИЦЫ ФАЗОВОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ МАТЕРИАЛА**

Артем Дмитриевич Богатырев

*Студент 5 курса,**кафедра «Инструментальная техника и технологии»**Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана**Научный руководитель: И. Б. Ставицкий,**кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»*

В настоящее время электроэрозионная обработка (ЭЭО) имеет важное значение в производстве. Достижимые параметры точности и качества поверхности, а также возможность обработки сложных фасонных поверхностей и поверхностей очень малого размера из любых электропроводных материалов, в том числе в закаленном состоянии, являются преимуществом данного метода. С появлением новых обрабатываемых материалов становится очень важно прогнозировать их параметры обработки. Так как процессы, происходящие при электрическом разряде сопряжены с образованием канала проводимости, плавлением материала, а также гидродинамическими процессами в межэлектродном промежутке, то построение теоретической модели ЭЭО и ее решение вызывает серьезное затруднение.

Оценить обрабатываемость материалов методом ЭЭО и выбрать рациональные режимы их обработки можно путем решения тепловой задачи о перемещении границы фазового превращения материала  $\eta$  - задачи Стефана. Ее решение позволяет определить зависимость глубины проплавления материала от времени исходя из физических свойств материала, плотности  $q$  теплового потока и длительности его действия (рис.1) [1]. Решение нестационарной задачи о теплопроводности в аналитическом виде возможно для определенного числа начальных условий и допущений, поэтому используют численные методы ее решения, например посредством программы, основанной на неявной конечно-разностной схеме и методе прогонки решения системы линейных уравнений [3,4].

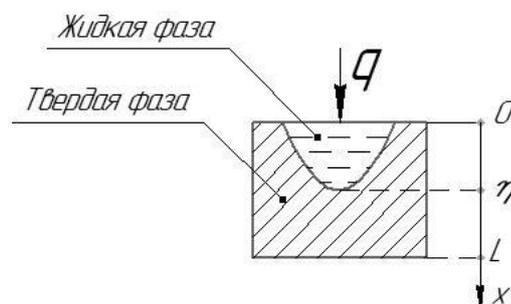


Рис. 1. Схема для определения границы фазового превращения материала

В качестве входных данных используются физические свойства обрабатываемого материала, величина теплового потока, длительность его действия и

толщина заготовки. В результате определяются величины температур на разных глубинах материала, а также положение границы раздела фаз с течением времени. Это позволяет делать выводы о необходимой величине энергии импульса, длительности единичного разряда, для получения необходимой глубины проплавления.

В общем виде энергия импульса распределяется между анодом, катодом, межэлектродным промежутком, а также затрачивается на излучение. В связи с этим важно знать величину теплового потока, поступающего непосредственно на обрабатываемый материал. Для этого можно решить обратную задачу: по известным глубине проплавления и времени действия источника тепла определить величину этого источника. В чистом виде обратный ход численного решения вызывает большее затруднение, чем прямой, так как температура на  $i$ -м слое зависит температуры на  $i$ -м слое в предыдущий момент времени, который не определен. Для решения такой задачи была создана специальная программа.

Для решения задачи Стефана в прямом виде использовались методы численного решения разностной схемы, основанные на методе сглаживания коэффициентов [2]. Для каждого пространственного слоя используется одно универсальное уравнение теплопроводности:

$$\rho(T) \cdot c(T) \frac{\partial T}{\partial t} = \operatorname{div}(\lambda(T) \cdot \operatorname{grad} T) + q(x, t),$$

где  $T = T(x, t)$  – температура в момент времени  $t$  в точке  $x, K$ ;  $\rho(T)$  – плотность вещества,  $\text{мм}^3$ ;  $c(T)$  – коэффициент теплоемкости вещества,  $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ ;  $\lambda(T)$  – коэффициент теплопроводности вещества,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$ ;  $q(T)$  – плотность теплового источника,  $\text{Вт}/\text{мм}^3$ .

В созданной программе был написан алгоритм обратного решения задачи, основанный на методах последовательного приближения. В качестве первого приближения принимается некоторая величина теплового потока и задача решается прямым способом. По прошествии заданной величины времени определяется положение фазовой границы: если она не входит в заданный допуск, то величина теплового потока получает приращение и происходит следующая итерация. В программе используется величина приращения, зависящая от относительной разности заданной глубины проплавления и полученной. Такое решение показало хорошие результаты, так как чем больше эта разность, тем большую поправку получает тепловой поток, что ускоряет расчет.

В качестве входных данных для решения обратной задачи могут быть предварительно измеренная глубина экспериментально полученной лунки при определенной длительности импульса. Таким образом определяется тепловой поток, как доля энергии импульса, затрачиваемой на обрабатываемый материал. Получаемая шероховатость поверхности зависит от глубины лунки, от ее радиуса и коэффициента перекрытия [5]. Поэтому решение задачи перемещения границы фазового превращения позволяет прогнозировать получаемую шероховатость поверхности, а также определять глубину измененного слоя, основываясь на распределении температур по глубине материала.

## Литература

1. Крейт Ф., Блэк У. Основы теплопередачи: пер. с англ. М.: Мир, 1983.
2. Самарский А.А., Моисенко Б.Д. Экономичная схема сквозного счета для многомерной задачи Стефана. // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. – 1965, Т.5. – №5. – с. 816-827.

3. *Ставицкий И.Б.* Определение рациональных режимов электроэрозионной обработки на основе решения тепловой задачи о перемещении границы фазового превращения материала. Вестник МГТУ. Спец. выпуск «Энергетическое и транспортное машиностроение». 2011.
4. *Ставицкий И.Б., Шевченко А.С.* Определение параметров импульсов электроэрозионной обработки титана на основе решения тепловой задачи Стефана. Инженерный журнал: наука и инновации МГТУ им. Н.Э. Баумана; №3(63), март 2017, с 1-12.
5. *Фотеев Н. К.* Технология электроэрозионной обработки. – М.: Машиностроение, 1980, 184 с .ил.