

ОПИСАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОД – ДЕТАЛЬ – ТЕПЛООТВОДЯЩАЯ МАССА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДИСКОВЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

А.А. Болтенков, канд. техн. наук, доцент

М.В. Селиверстов, старший преподаватель

Алтайский государственный аграрный университет
(Россия, г. Барнаул)

DOI: 10.24411/2500-1000-2019-10921

Аннотация. Представлена математическая модель электромеханического деформирования (ЭМД) лезвий дисковых почвообрабатывающих орудий. Рассмотрены варианты моделирования тепловых процессов. В результате предложен переход от тепловых процессов в реальных системах «электрод–деталь–теплоотводящая масса» и «деталь–теплоотводящая масса» к тепловым процессам в условно выделенных составных стержнях. Построение математической модели в виде составного стержня, имитирующий тепловой процесс позволило увязать между собой параметры и факторы процесса восстановления режущей способности дисковых почвообрабатывающих орудий с качественными характеристиками рабочей поверхности деталей.

Ключевые слова: режущая кромка, износ, деталь, инструмент, электромеханического деформирования, математическое моделирование, тепловой поток, температурное поле, метод конечных разностей, численный эксперимент, результаты.

Эффективность метода восстановления режущей кромки дисковых рабочих органов почвообрабатывающей и посевной техники определяет целесообразность практической реализации его в производстве. Предложенный метод электромеханического деформирования совмещающего в себе процессы термического и силового воздействия на режущую кромку при восстановлении рабочих органов сельскохозяйственных машин отвечает выполнению данных требований [1, 2].

Диски посевных и почвообрабатывающих орудий имеют различные конструктивные параметры и свойства материалов, из которых они изготовлены, поэтому требуется большой объем экспериментальных исследований, необходимых для определения параметров и режимов процесса восстановления режущей кромки этих деталей. Число проводимых натуральных экспериментов может быть уменьшено за счет численных экспериментов, осуществ-

ляемых методами математического моделирования.

Процесс формирования режущей кромки диска определяется давлением электрода и достижением необходимой температурой нагрева металла в области деформирования, соотношение которых определяет эффективность процесса электромеханического деформирования. К основным технологическим параметрам определяющим величину энергозатрат можно отнести: давление P , электрическое напряжение U , и силу тока I . Для установления между ними взаимосвязи в процессе ЭМД будем использовать методы математического моделирования тепловых процессов.

На рисунке 1а показана схема электромеханического деформирования, поперечный разрез системы и введена система координат для расчета температурных полей; на рисунке 1б показан вид системы в плане.

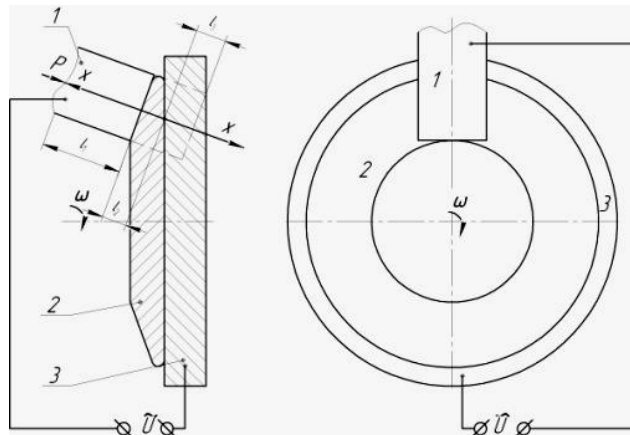


Рис. 1. Схема электромеханического деформирования режущей кромки диска почвообрабатывающего орудия с использованием электроконтактного нагрева

1-формирующий электрод; 2- восстанавливаемый диск; 3- теплоотводящая масса; l_1 -высота электрода; l_2 -средняя толщина восстанавливаемого участка режущей кромки до и после деформирования; l_3 -толщина теплоотводящей массы.

Деталь (диск 2) жестко закрепленная на теплоотводящей массе 3, с определенной угловой скоростью ω подается под формирующий электрод 1, к которому приложено давление P и напряжение U . Между электродом и восстанавливаемой деталью образуется тонкая переходная зона, имеющая сопротивление R , преодолеваемое электрическим током с выделением теплоты. Полученная теплота расходуется на нагрев электрода и детали.

Выделение тепловых процессов в качестве основных, влияющих на процесс восстановления режущей кромки, позволил перейти от анализа тепловых процессов в реальных системах «электрод–деталь–теплоотводящая масса» и «деталь–теплоотводящая масса» к тепловым процессам в условно выделенных составных стержнях рассматриваемых процесс ЭМД в статическом режиме, когда процесс электромеханического деформирования осуществляется без вращения диска ($\omega=0$).

Удельную мощность q (плотность теплового потока) определим выражением [3]:

$$q = k_1 \frac{U \cdot I}{S}, \quad (1)$$

где U – падение напряжения на контакте, В;

I – сила тока в контакте, А;

S – площадь пятна контакта, m^2 ;

k_1 –коэффициент энергозатрат, учитывающий особенности контактного взаимодействия электрода с восстанавливаемой деталью.

Математическая модель теплопереноса в стержневой системе (рис.2) определила для каждого из элементов трехслойной системы следующие уравнения теплопроводности:

$$c_1 \rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2}, \quad 0 < x < l_1, \quad 0 < t < t_{max}, \quad (2)$$

$$c_2 \rho_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2}, \quad 0 < x < l_2, \quad 0 < t < t_{max}, \quad (3)$$

$$c_3 \rho_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3 \frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2}, \quad l_2 < x < l_2 + l_3, \quad 0 < t < t_{max}, \quad (4)$$

где c_i – удельная массовая теплоемкость;

ρ_i – плотность;

λ_i – коэффициент теплопроводности i -ой области ($i = 1, 2, 3$);

t_{max} – время завершения процесса деформирования режущей кромки в статическом режиме ЭМД.

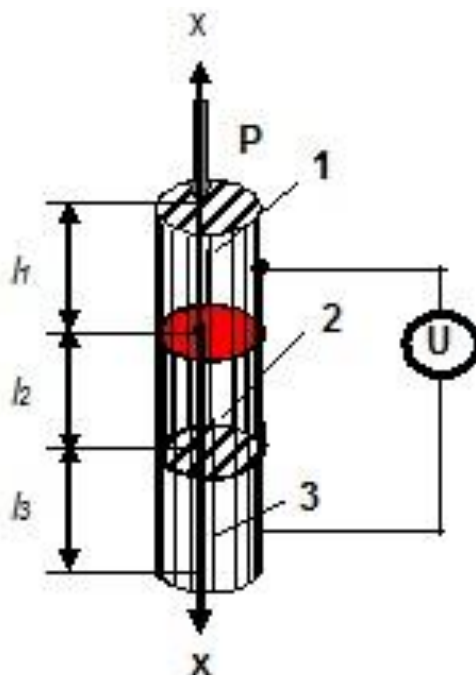


Рис. 2. Составной стержень эквивалентный в тепловом отношении трехслойной системе электрод (1)-деталь (2)-теплоотводящая масса (3)

Уравнение теплового баланса на границе «деталь – электрод» представим в следующем виде:

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} + k_1 \frac{U \cdot I}{S}, x=0, 0 < t < t_{max}, (5)$$

Уравнение теплоотдачи с поверхности электрода запишем на основании закона Ньютона:

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} = \alpha(T_1 - T_{cp}), x=l_1, 0 < t < t_{max}, (6)$$

где α – коэффициент теплоотдачи с поверхности электрода.

Условие непрерывности температурных полей и тепловых потоков на границе раздела «деталь – теплоотводящая масса» в случае идеального теплового контакта имеет следующий вид:

$$\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} = \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial x}, T_2 = T_3, x=l_2, 0 < t < t_{max}, (7)$$

Условие теплоотдачи с поверхности теплоотводящей массы опишем следующим уравнением:

$$-\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial x} = q_{omc}, x=l_2 + l_3, 0 < t < t_{max}, (8)$$

где q_{omc} – величина плотности теплового потока, отводимого теплопроводностью в отсеченную теплоотводящую массу (рис. 1а).

Начальные условия процесса (начальное распределение температур) зададим следующим образом:

$$T_i = T_{cp}; 0 < x < l_1; 0 < x < l_2 + l_3; i=1,2,3; t=0. (9)$$

Таким образом, система уравнений (1)-(8) представляет собой одномерную математическую модель тепловых процессов в системе электрод-деталь-теплоотводящая масса в статическом режиме ЭМД.

С ее помощью могут быть решены две задачи: 1) задача определения коэффициента энергозатраты k_1 по данным натурального эксперимента процесса ЭМД в статическом режиме (задача идентификации); 2) задача вычисления температурного поля составного стержня, состоящего из контактирующих стержней электрода, детали и теплоотводящей массы (задача моделирования).

Библиографический список

1. Аскинази, Б.М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой / Б.М. Аскинази. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 197 с.
2. Чижев В.Н., Бельчикова О.Г., Селиверстов М.В., Селиверстов К.В. Электромеханическое деформирование металлов–основа ресурсосбережения при ремонте деталей машин // Вестник АГАУ. – 2007. – №9. – С. 54-58.
3. Чижев В.Н., Болтенков А.А., Селиверстов М.В., Телгожаева Ф.С. Математическое моделирование тепловых процессов в системе «Электрод деталь теплоотводящая масса» при ремонте деталей // Вестник АГАУ. – 2009. – №12. – С. 80-85.

DESCRIPTION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF HEAT PROCESSES IN THE SYSTEM ELECTRODE - DETAIL - HEAT RELATING MASS WHEN DETERMINING THE PARAMETERS OF THE RECOVERY OF DISK WORKING BODIES

A.A. Boltenev, *candidate of technical sciences, associate professor*

M.V. Seliverstov, *senior lecturer*

Altai state agrarian university

(Russia, Barnaul)

Abstract. *A mathematical model of electromechanical deformation (EMD) of blades of disk tillage tools is presented. The variants of modeling thermal processes are considered and it is proposed to use mathematical models obtained as a result of the transition from the analysis of thermal processes in real systems “electrode – part-heat mass” and “part-heat mass” to thermal processes in conventionally separated composite rods.*

Keywords: *cutting edge, wear, part, tool, electromechanical deformation, mathematical modeling, heat flow, temperature field, finite difference method, numerical experiment, results.*